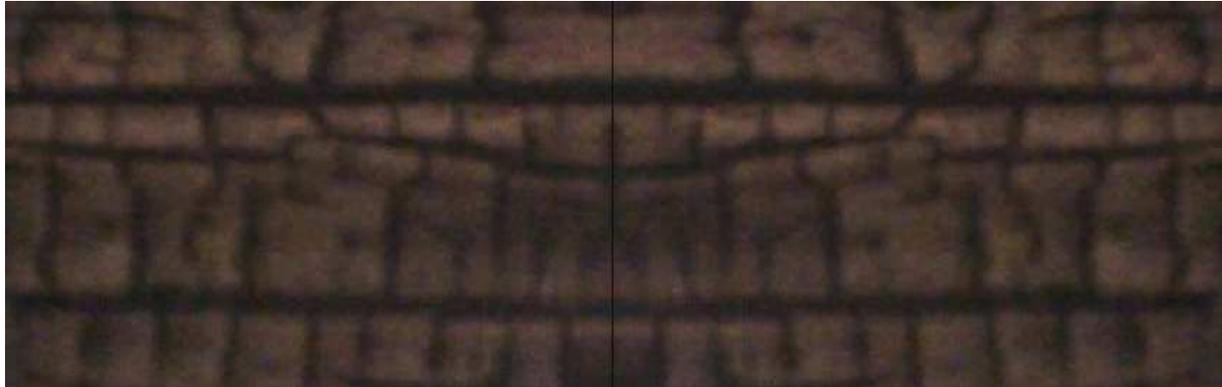




INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa



REACÇÃO AO FOGO DE MADEIRA ANTIGA PROTEGIDA COM REVESTIMENTOS RETARDADORES DE COMBUSTÃO

João Pedro Santos Laranjeira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Júri

Presidente: Prof. Doutor Jorge Manuel Caliço Lopes de Brito

Orientadores: Prof. Doutora Ana Paula Patrício Teixeira Ferreira Pinto França de Santana

Doutora Helena Maria Pires Cruz

Vogais: Prof. Doutor Augusto Martins Gomes

Doutor Carlos Alberto Pina dos Santos

Julho 2012

Dissertação elaborada ao abrigo do protocolo de cooperação IST-DECivil e LNEC.

RESUMO

A segurança contra incêndio é uma componente da segurança dos edifícios requerida tanto por códigos normativos específicos, como por companhias de seguro. O tratamento da madeira com retardadores de combustão é a forma mais usual para melhorar o seu desempenho de reacção ao fogo. É frequente encontrar elementos de madeira em intervenções de reabilitação de edifícios, uma vez que é um dos materiais de construção tradicional. A presente dissertação foca a protecção ao fogo de estruturas de cobertura de madeira antiga, através da aplicação superficial, por pintura, de revestimentos retardadores de combustão. O objectivo do estudo realizado consistiu em avaliar, experimentalmente, o efeito dos tratamentos de superfície retardadores de combustão no desempenho da madeira submetida à acção do fogo, usando substratos com deterioração biológica e tratamentos preservadores prévios. O comportamento e a eficácia dos tratamentos intumescentes e não intumescentes (conhecidos como “ignífugos”), também foram analisados. Os métodos de ensaio, adoptados para avaliar as propriedades de reacção ao fogo foram o ensaio do painel radiante (EN ISO 9239-1, 2010) e do objecto isolado em combustão (SBI) (EN 13823, 2010). Os ensaios realizados foram de âmbito exploratório, tendo-se privilegiado a análise de um maior número de variáveis em detrimento de um maior número de réplicas de cada ensaio. O trabalho experimental realizado demonstrou que a aplicação de produtos de revestimento retardador de combustão melhora substancialmente o desempenho de reacção ao fogo dos substratos de madeira antiga ensaiados, mesmo quando previamente tratados com produtos preservadores. Contudo, a escolha do retardador de combustão a aplicar deve estar de acordo com as condições de substrato presentes, já que a eficácia de alguns produtos ou sistemas ensaiados é seriamente reduzida quando não são aplicados sobre madeira nova e limpa, enquanto outros parecem ser menos sensíveis às condições prévias do substrato, podendo constituir uma alternativa interessante quando a manutenção das superfícies antigas e/ou o tratamento preservador da madeira é incontornável. Parece também ser prudente optar, tanto quanto possível, por sistemas de pintura em que as várias camadas têm diferentes modos de actuação.

PALAVRAS-CHAVE: estruturas de madeira; protecção passiva; reacção ao fogo; intumescente; ignífugo; reabilitação.

ABSTRACT

Fire safety is a component of buildings safety that is addressed by specific building codes and standards, as well as insurance companies. Treatment of wood with fire retardants is the most usual way to improve its reaction to fire. Wood as a traditional building material is often found in buildings' rehabilitation. This study focuses on the surface protection of existing timber roof structures against fire, through the use of fire retardant (FR) coatings applied on site. An experimental investigation was carried out to study the effect of FR coatings on the fire reaction of timber, with a special emphasis on timber members with biological deterioration and previous preservative treatments. The behaviour and effectiveness of intumescent varnishes and non-intumescent coatings was also investigated. The tests followed the radiant panel test method (EN ISO 9239-1, 2010) and the single burning item (SBI) test method (EN 13823, 2010). The test program chose to cover a wide range of variables, rather than having a larger number of replicates for each test, thus providing an exploratory overview of the problem. The study showed that the application of FR coating products improved the reaction to fire of timber, even in the presence of previous preservative treatments. However, the choice of the specific FR coating should take into account the substrate conditions. It was found that the efficiency of some products was seriously affected if applied on other substrates than clean new timber, whereas others seem to be far less sensitive to substrate conditions, thus being an interesting alternative whenever the old timber surfaces are to be maintained and/or preservative treatment can't be avoided. Besides, protection systems involving multi layers with different functioning modes each are likely to have a good global performance.

KEYWORDS: timber structures; reaction to fire; fire retardant treatments; intumescent; non-intumescent; rehabilitation.

AGRADECIMENTOS

A concretização desta dissertação exigiu dedicação, mas apenas foi possível graças à contribuição decisiva de algumas pessoas a quem manifesto os meus agradecimentos.

Agradeço à Doutora Helena Cruz, investigadora principal do LNEC/DE/NEM, pelo ensino, apoio, compreensão, dedicação e disponibilidade, expressa na orientação desta dissertação. O meu especial agradecimento, uma vez que sem a sua ajuda, a elaboração da presente dissertação não seria possível.

Agradeço à Prof.^a Doutora Ana Paula Ferreira Pinto, professora auxiliar do IST-DECivil, pela disponibilidade e apoio, na orientação pelo IST, no decorrer desta dissertação.

Agradeço ao Laboratório de Ensaios de Reacção ao Fogo (LERF/LNEC), coordenado pelo Doutor Carlos Pina dos Santos, investigador principal do LNEC/DED/NRI, pela colaboração e disponibilização das instalações de ensaios; bem como à cooperação da respectiva equipa de trabalho (Júlio Sampaio e Armindo António). Reitero o meu agradecimento ao Júlio Sampaio, presente em todos os ensaios no LERF, pela disponibilidade, apoio, sugestões e conhecimentos.

Agradeço à Doutora Maria Paula Rodrigues, investigadora principal do LNEC/DM/NMO, pela colaboração e disponibilização das instalações de ensaios do Laboratório de Ensaios de Materiais Orgânicos para a Construção (LEMOG/LNEC); bem como à Elisete Ferreira, pelo seu auxílio.

No âmbito da pesquisa de mercado efectuada, agradeço ao Eng.^o Christophe Smits, da empresa Lusoverniz, e à Eng.^a Sandra Pereira, da empresa Rikor, pelos conhecimentos transmitidos, disponibilidade e apoio. Da panóplia de empresas consultadas gostaria de agradecer a todas sem excepção, merecendo contudo especial destaque: o Eng.^o José Pereira, a Eng.^a Maria Conceição e Marco Silva, da empresa Matesica; a Eng.^a Sofia Teodósio, da empresa Robbialac; o Eng.^o José Oliveira e o Eng.^o Joaquim Dias, da empresa Titan; o Sr. Rob Brussee e Sr. Paul, da empresa Flame Guard.

Agradeço a toda a equipa de trabalho do Núcleo de Estruturas de Madeira (LNEC/NEM) pelo apoio, colaboração e dedicação no desenvolvimento desta dissertação, em especial ao Eng.^o Pedro Palma pelo apoio, sugestões e discussão, em diversas fases da presente dissertação; à Sandra Sousa, à Sofia Simões e ao Paulo Frazão, pelo auxílio em diversas fases do fabrico dos provetes de ensaio.

Agradeço ao sector de carpintaria do LNEC (Arménio, Cláudio e Eduardo), pela disponibilidade que sempre mostraram na execução dos provetes de ensaio.

Agradeço aos meus amigos e colegas, por todo o apoio em diferentes fases do curso: Hugo Luz, Lúcia Mendes, Mickael Oliveira, Rômulo Guedes, Pedro Pinto Basto, Emanuel Henriques, Marcos Infante e Maria Pereira.

Dedico esta dissertação à minha família, em particular ao meu núcleo familiar, os meus pais, José e Edite Laranjeira, e a minha irmã, Tânia Laranjeira, como forma de expressar o meu amor e a minha gratidão, por serem parte essencial da minha vida. O meu obrigado, pai, mãe e irmã.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
AGRADECIMENTOS	v
ÍNDICE GERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE QUADROS	xv
ACRÓNIMOS USADOS	xix
Glossário	xxi
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
I.1. Considerações Preliminares	1
I.2. Âmbito e Objectivos	3
I.3. Estrutura da Dissertação	4
CAPÍTULO II – ACÇÃO DO FOGO SOBRE A MADEIRA: REACÇÃO AO FOGO	7
II.1. Degradação térmica da madeira	8
II.1.1. Pirólise	8
II.1.2. Ignição	10
II.1.3. Carbonização da madeira	10
II.2. Segurança contra incêndio em edifícios: reacção ao fogo dos produtos de construção 12	
II.2.1. Factores que afectam a reacção ao fogo de produtos de madeira.....	14
II.2.2. Sistema europeu harmonizado: euroclasses, ensaios de reacção ao fogo e CWFT	15

CAPÍTULO III – PROTECÇÃO DA MADEIRA AO FOGO COM RETARDADORES DE COMBUSTÃO	23
.....	
III.1. Mecanismos de actuação dos retardadores de combustão na madeira	25
III.2. Princípio químico activo e efeitos dos retardadores de combustão na madeira	26
III.3. Técnicas de aplicação dos retardadores de combustão na madeira	27
III.3.1. Tratamento em profundidade	28
III.3.2. Tratamento de superfície.....	29
III.4. Durabilidade dos retardadores de combustão na madeira	33
III.5. Condicionantes na escolha do retardador de combustão	34
III.6. Combinação de tratamentos retardadores de combustão e de preservação	35
III.7. Pesquisa de mercado de produtos de revestimentos retardadores de combustão para madeira	36
III.7.1. Âmbito e metodologia.....	36
III.7.2. Apresentação de resultados	36
III.7.3. Análise de resultados	40
CAPÍTULO IV – CAMPANHA EXPERIMENTAL	43
IV.1. Objectivos	43
IV.2. Materiais	44
IV.2.1. Madeira.....	44
IV.2.2. Vernizes	45
IV.3. Definição dos cenários	47
IV.3.1. Campanha do painel radiante	47
IV.3.2. Campanha do SBI	48
IV.4. Preparação dos provetes a ensaiar	49

IV.4.1. Fabrico e identificação dos provetes.....	49
IV.4.2. Preparação da superfície	50
IV.5. Aplicação dos produtos.....	51
IV.5.1. Campanha do painel radiante	52
IV.5.2. Campanha do SBI	56
IV.6. Verificação da espessura de filme dos provetes da campanha do painel radiante	58
IV.6.1 Procedimento	58
IV.6.2. Apresentação de resultados.....	60
IV.6.3. Análise de resultados	61
IV.7. Ensaio do painel radiante	62
IV.7.1. Procedimento	62
IV.7.2. Apresentação de resultados.....	66
IV.7.3. Análise de resultados	69
IV.8. Ensaio do objecto isolado em combustão	99
IV.8.1. Procedimento	100
IV.8.2. Apresentação de resultados.....	103
IV.8.3. Análise de resultados	104
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO.....	119
V.1. Conclusões	119
V.2. Perspectivas de desenvolvimento futuro	122
CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
A. Publicações.....	123
B. Referências online.....	128

ANEXO A – PREPARAÇÃO DOS PROVETES DE ENSAIO.....A.1

ANEXO B – APÓS OS ENSAIOS DE REACÇÃO AO FOGOB.1

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II – ACÇÃO DO FOGO SOBRE A MADEIRA: REACÇÃO AO FOGO	7
Figura II. 1 Zonas de temperatura e de degradação numa secção de madeira exposta à acção do fogo	8
Figura II. 2 Secção de madeira carbonizada.....	12
CAPÍTULO III – PROTECÇÃO DA MADEIRA AO FOGO COM RETARDADORES DE COMBUSTÃO	23
Figura III. 1 Curvas de libertação de calor em contraplacados de madeira Douglas fir de 12,5 mm de espessura, tratada e não tratada com retardador de combustão	24
Figura III. 2 Etapas do tratamento em autoclave	29
Figura III. 3 Equipamento de autoclave da TWBrazil	29
CAPÍTULO IV – CAMPANHA EXPERIMENTAL	43
Figura IV. 1 Aplicação do insecticida no provete CIPx, na sala de ensaios do NEM.....	52
Figura IV. 2 Provetes na sequência COP3, CIP3 e SIP3, na sala de ensaios do NEM, concluída a aplicação do sistema de protecção P3.....	53
Figuras IV. 3 a) Elcometer 121; b) Representação esquemática do corte.....	59
Figura IV. 4 Zona de ensaio do método de corte da cunha no provete SLP4	59
Figura IV. 5 Ensaio do painel radiante: curva de fluxo térmico (em língua inglesa, <i>heat flux</i>) em função da distância (em língua inglesa, <i>position</i>) em cada dia de ensaios: a) 25 de Maio, b) 14 de Junho, c) 2 de Agosto de 2011; d) Vista em perspectiva mostrando os princípios de teste do painel radiante; e e) Vista em planta mostrando os cortes (A a F) no provete de ensaio do painel radiante.....	65
Figura IV. 6 Combustão no provete SLP0', no decorrer do ensaio do painel radiante	71
Figura IV. 7 Comportamento dos testemunhos de madeira nova e sã: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	71

Figura IV. 8 Comportamento dos testemunhos SLP0', SLP0'', CLP0' e CLP0''': a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	73
Figura IV. 9 Comportamento dos testemunhos de madeira antiga após remoção do produto oleoso superficial: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	75
Figura IV. 10 Comportamento dos testemunhos com produto insecticida: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	76
Figura IV. 11 Comportamento dos testemunhos de madeira antiga: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	78
Figura IV. 12 Comportamento dos provetes de madeira nova e sã com tratamento preservador: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	79
Figura IV. 13 Comportamento dos provetes SLPx com protecção não intumescente e respectivos testemunhos: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	81
Figura IV. 14 Comportamento dos provetes CIPx com protecção não intumescente e respectivo testemunho: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	83
Figura IV. 15 Comportamento dos provetes COPx com protecção não intumescente e respectivo testemunho: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	84
Figura IV. 16 Comportamento dos provetes com protecção não intumescente e correspondentes testemunhos: a) Propagação máxima da chama e b) Produção de fumo	86
Figura IV. 17 Manchas brancas no provete COP1, antes do ensaio do painel radiante	87
Figura IV. 18 Ensaio do painel radiante dos provetes: a) SLP1 e b) SLP2.....	87
Figura IV. 19 Comportamento dos provetes SLPx com protecção intumescente e respectivos testemunhos: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	88

Figura IV. 20 Comportamento dos provetes CIPx com protecção intumescente e respectivo testemunho: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	90
Figura IV. 21 Comportamento dos provetes COPx com protecção intumescente e respectivo testemunho: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas	92
Figura IV. 22 Comportamento dos provetes com protecção intumescente e correspondentes testemunhos: a) Propagação máxima da chama e b) Produção de fumo.....	93
Figura IV. 23 Processo intumescente nos provetes: a) SLP3, b) SLP4 e c) CIP5.....	94
Figura IV. 24 Secções residuais normalizadas dos sistemas de protecção P2, P3, P4 e P5 nos cenários: a) SLPx, b) CIPx e c) COPx	97
Figura IV. 25 a) Equipamento do SBI (LERF/LNEC); Perspectiva do provete CLP0: b) antes de ensaio, c) durante o “período de <i>baseline</i> ” e d) durante o “período de exposição”.....	102
Figura IV. 26 Comportamento dos provetes de referência: a) Média deslizando dos valores medidos nos 30 s em torno do instante t (desde 15 s antes, até 15 s depois) da taxa de libertação de calor do provete, b) Calor total libertado do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento do fogo	106
Figura IV. 27 Comportamento dos provetes de referência: a) Média deslizando dos valores medidos nos 60 s em torno do instante t (desde 30 s antes, até 30 s depois) da taxa de produção de fumo do provete, b) Produção total de fumo do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento de fumo	107
Figura IV. 28 Comportamento dos provetes sujeitos a tratamento com produto à base de azóis de cobre: a) Média deslizando dos valores medidos nos 30 s em torno do instante t (desde 15 s antes, até 15 s depois) da taxa de libertação de calor do provete, b) Calor total libertado do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento do fogo	108
Figura IV. 29 Comportamento dos provetes sujeitos a tratamento com produto à base de azóis de cobre: a) Média deslizando dos valores medidos nos 60 s em torno do instante t (desde 30 s antes, até 30 s depois) da taxa de produção de fumo do provete, b) Produção total de fumo do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento de fumo	108
Figura IV. 30 Comportamento dos provetes sujeitos à remoção do produto oleoso superficial: a) Média deslizando dos valores medidos nos 30 s em torno do instante t (desde 15 s antes, até 15 s depois) da taxa de libertação de calor do provete, b) Calor total libertado do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento do fogo	109

Figura IV. 31 Comportamento dos provetes sujeitos à remoção do produto oleoso superficial: a) Média deslizando dos valores medidos nos 60 s em torno do instante t (desde 30 s antes, até 30 s depois) da taxa de produção de fumo do provete, b) Produção total de fumo do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento de fumo 111

Figura IV. 32 Comportamento dos provetes com produto oleoso na superfície: a) Média deslizando dos valores medidos nos 30 s em torno do instante t (desde 15 s antes, até 15 s depois) da taxa de libertação de calor do provete, b) Calor total libertado do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento do fogo 113

Figura IV. 33 Comportamento dos provetes com produto oleoso: a) Média deslizando dos valores medidos nos 60 s em torno do instante t (desde 30 s antes, até 30 s depois) da taxa de produção de fumo do provete, b) Produção total de fumo do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento de fumo 114

Figura IV. 34 Comportamento dos provetes nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal: a) Calor total libertado e b) Produção total de fumo..... 115

Figura IV. 35 “Zona de encontro” das abas dos provetes após ensaio do SBI: a) COP1, b) CLP4 e c) CLP5..... 116

ÍNDICE DE QUADROS

CAPÍTULO II – ACÇÃO DO FOGO SOBRE A MADEIRA: REACÇÃO AO FOGO 7

Quadro II. 1 Classes de reacção ao fogo para produtos de construção, excluindo revestimentos de piso 19

Quadro II. 2 Classes de reacção ao fogo para produtos de construção destinados a revestimentos de piso 20

Quadro II. 3 Índices adoptados para os critérios das Euroclasses 21

CAPÍTULO III – PROTECÇÃO DA MADEIRA AO FOGO COM RETARDADORES DE COMBUSTÃO 23

Quadro III. 1 Factores ambientais que influenciam as propriedades da madeira tratada 33

Quadro III. 2 Possíveis vantagens e desvantagens de tratamentos em profundidade e superficiais com retardadores de combustão em madeira 35

Quadro III. 3 Mercado nacional de vernizes e impregnantes de protecção ao fogo para madeira 38

Quadro III. 4 Mercado nacional de tintas de protecção ao fogo para madeira 39

CAPÍTULO IV – CAMPANHA EXPERIMENTAL 43

Quadro IV. 1 Tipo de protecção ao fogo dos sistemas de pintura (Px) da campanha experimental, segundo as indicações dos fabricantes 46

Quadro IV. 2 Cenários (condições do substrato) considerados na campanha do painel radiante 47

Quadro IV. 3 Nomenclatura adoptada para os cenários (condições do substrato) e produtos considerados na campanha experimental do ensaio do painel radiante 48

Quadro IV. 4 Cenários (condições do substrato) considerados na campanha do SBI 48

Quadro IV. 5 Nomenclatura adoptada para os cenários (condições do substrato) e produtos considerados na campanha experimental do ensaio do SBI 48

Quadro IV. 6 Valores da temperatura e humidade relativa do ar durante a aplicação dos sistemas de pintura (P2, P3, P4 e P5) da campanha experimental do ensaio do painel radiante 54

Quadro IV. 7 Esquemas de aplicação dos Px usados na campanha experimental.....	55
Quadro IV. 8 Provetes de ensaio da campanha do painel radiante.....	56
Quadro IV. 9 Valores da temperatura e humidade relativa do ar durante a aplicação dos vernizes da campanha experimental do ensaio do SBI.....	56
Quadro IV. 10 Provetes de ensaio da campanha do SBI.....	57
Quadro IV. 11 Consumo húmido e valores médios da espessura de filme correspondentes.....	60
Quadro IV. 12 Valores de temperatura e humidade relativa do ar, nas 48h antes dos respectivos dias de ensaio do painel radiante	64
Quadro IV. 13 Parâmetros de reacção ao fogo avaliados no ensaio do painel radiante	67
Quadro IV. 14 Parâmetros de avaliação do fumo no ensaio do painel radiante	68
Quadro IV. 15 Secções dos provetes da campanha, antes e após o ensaio do painel radiante.....	68
Quadro IV. 16 Painel radiante – madeira nova e sã sem protecção ao fogo.....	70
Quadro IV. 17 Painel radiante – testemunhos sem protecção ao fogo.....	72
Quadro IV. 18 Painel radiante – madeira antiga sem protecção ao fogo + remoção do produto oleoso superficial.....	74
Quadro IV. 19 Painel radiante – testemunhos sem protecção ao fogo + tratamento com insecticida..	76
Quadro IV. 20 Painel radiante – madeira antiga sem protecção ao fogo.....	77
Quadro IV. 21 Painel radiante – madeira nova e sã sem protecção ao fogo + tratamento preservador	79
Quadro IV. 22 Painel radiante – madeira nova e sã + protecção não intumescente	81
Quadro IV. 23 Painel radiante – madeira antiga + tratamento com insecticida + protecção não intumescente	82
Quadro IV. 24 Painel radiante – madeira antiga + produto oleoso + protecção não intumescente.....	84
Quadro IV. 25 Painel radiante – madeira nova e sã + protecção intumescente	88
Quadro IV. 26 Painel radiante – madeira antiga + tratamento com insecticida + protecção intumescente	89
Quadro IV. 27 Painel radiante - madeira antiga + produto oleoso + protecção intumescente.....	91

Quadro IV. 28 Valores de temperatura e humidade relativa do ar, nas 48h antes dos ensaios do SBI	101
Quadro IV. 29 Parâmetros de reacção ao fogo, segundo o ensaio do SBI	104
Quadro IV. 30 Parâmetros de avaliação da produção de fumo, segundo o SBI	104

ACRÓNIMOS USADOS

CHF – Fluxo crítico de calor na extinção (em língua inglesa, *Critical Heat Flux at extinguishment*).

CI – Madeira antiga com ataque por **Caruncho**, após remoção do produto oleoso superficial e com um produto preservador em solvente orgânico - Insecticida, aplicado por pincelagem.

CL – Madeira antiga com ataque por **Caruncho** e **Limpa** após remoção do produto oleoso superficial.

CO – Madeira antiga com ataque por **Caruncho** e com produto **Oleoso** na superfície.

CWFT - Classificação sem necessidade de ensaio (em língua inglesa, *Classification Without Further Testing*), no âmbito do SEH (ver abaixo).

DI nº2 – **D**ocumento **I**nterpretativo nº2 **S**egurança em caso de incêndio (Directiva 89/106/CEE do Conselho 94/C62/01).

DPC – **D**irectiva dos **P**rodutos de **C**onstrução (Directiva 89/106/CEE de 21 de Dezembro de 1988, alterada pela Directiva 89/68/CEE de 22 de Julho de 1993).

FIGRA - Taxa de desenvolvimento do fogo (do inglês *Fire Growth Rate*).

FLG – **F**ire **L**aboratories **G**roup (constituído por um conjunto de nove laboratórios de ensaios de fogo de vários Estados-membros, entre os quais Portugal).

FRG – **F**ire **R**egulators **G**roup (entretanto foi extinto e, de certa forma, substituído pelo *Expert Group on fire related issues, EFG*).

Fs – Extensão da propagação da chama.

HF-30 - Fluxo de calor radiante incidente na frente de inflamação da superfície do provete após 30 min de ensaio.

HR – **H**umidade **R**elativa do ar.

HRR_{30s} - Média deslizante dos valores medidos nos 30 s em torno do instante t (desde 15 s antes, até 15 s depois) da taxa de libertação de calor do provete (kW).

LERF – **L**aboratório de **E**nsaios de **R**eação ao **F**ogo do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

LFS – Propagação lateral da chama.

P0 – Provete sem qualquer produto de protecção passiva de reacção ao fogo aplicado.

P (1, 2, 3, 4, 5) – Produto aplicado individualmente ou sistema de produtos de protecção passiva de reacção ao fogo incluído no programa experimental da presente Dissertação.

SBI – Objecto isolado em combustão (do inglês *Single Burning Item*).

SEH - Sistema Europeu Harmonizado no âmbito das Euroclasses de reacção ao fogo.

SI – Madeira nova e Sã com tratamento preservador em solvente orgânico – Insecticida, aplicado por pincelagem.

SL – Madeira nova e Sã sem tratamento preservador – Limpa.

SMOGRA - Taxa de desenvolvimento de fumo (do inglês *Smoke Growth Rate*).

SPR_{60s} - Média deslizante dos valores medidos nos 60 s em torno do instante t (desde 30 s antes, até 30 s depois) da taxa de produção de fumo do provete (m²/s).

ST – Madeira nova e Sã com Tratamento preservador em profundidade com produto à base de azóis de cobre.

THR - Calor total libertado (do inglês *Total Heat Release*).

TSP - Produção total de fumo (do inglês *Total Smoke Production*).

Glossário

Auto-ignição (inflamação espontânea) – Inflamação resultante de um auto-aquecimento (sem fonte de energia exterior).

Calor de combustão (poder calorífico) – Energia calorífica superior (PCS) /inferior (PCI) susceptível de ser libertada pela combustão completa da massa unitária de um material.

Chama – Zona de combustão em fase gasosa com emissão de luz.

Comburente – Elemento ou composto químico susceptível de provocar a oxidação ou combustão de outras substâncias.

Combustão – Reacção exotérmica de uma substância combustível com um comburente, susceptível de ser acompanhada de uma emissão de chama e/ou incandescência e/ou de emissão de fumo.

Combustível – Substância susceptível de arder.

Comportamento ao fogo – Todas as transformações físicas e/ou químicas sofridas por materiais, produtos e/ou estruturas, expostos ao fogo.

Fogo – Combustão caracterizada por uma emissão de calor acompanhada de fumo ou de chama ou de ambos.

Fumigação - Tratamento químico para controlo de pragas, através de compostos químicos ou formulações pesticidas, os chamados fumigantes, voláteis (no estado de vapor ou gás), realizado num sistema hermético, visando a desinfestação de materiais que não possam ser submetidos a outras formas de tratamento.

Fumo – Conjunto visível de partículas sólidas e/ou líquidas, em suspensão no ar, resultantes de uma combustão ou de uma pirólise.

Ignição – Início da combustão.

Ignição provocada – Inflamação resultante da acção localizada de uma fonte de energia exterior.

Ignitabilidade – Facilidade de ignição do material, produto e/ou estrutura, expostos ao fogo.

Incêndio – Fogo incontrolado no espaço e no tempo e que provoca danos.

Inflamação – Instante de aparecimento de chamas.

Inflamável – Substância capaz de arder com produção de chamas.

Pirólise – Decomposição química irreversível de um material, produzida por aumento de temperatura sem reacção com o oxigénio.

Produtos de combustão – Conjunto de gases, partículas ou aerossóis libertados por combustão ou pirólise.

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

I.1. Considerações Preliminares

A segurança contra incêndio é uma necessidade em todos os tipos de construção, pois estão em jogo não só vidas humanas, mas também interesses diversos como, por exemplo, bens patrimoniais, valores históricos com forte simbolismo no imaginário colectivo, que uma vez perdidos dificilmente serão recuperados e, ainda, a continuidade de serviços estratégicos para a sociedade em geral (Coelho, 2010).

A madeira teve, desde sempre, um papel determinante na construção de estruturas de cobertura, que se manteve mesmo após a generalização do uso do betão armado. Na construção tradicional encontra-se em paredes de edifícios pombalinos e gaioleiros, quer em paredes de tabique (não estruturais), quer em paredes de frontal (estruturais); e em pavimentos de madeira até ao início do século XX (Machado *et al.*, 2009). É um dos materiais de construção mais antigos utilizado pelo homem na construção de edifícios, apesar do preconceito associado à combustibilidade da madeira.

A avaliação de uma estrutura de madeira, no contexto da conservação do património construído, deve passar pela análise actual do estado de conservação - degradação biológica, mecânica ou física, e ainda por uma análise que permita a identificação de possíveis riscos para a segurança, como o risco de incêndio, ou de degradação biológica (Machado *et al.*, 2009). Por outro lado, de um modo geral, os centros urbanos antigos apresentam uma elevada carga de incêndio, na medida em que conjugam uma série de factores: actividades de comércio e indústria; edifícios com instalações eléctricas muito deficientes, e portanto, com maior probabilidade de curto-circuito; desertificação característica dos centros urbanos, o que torna mais difícil a detecção de um incêndio (Coelho, 2008). Com efeito, para garantir a sua durabilidade, é necessário dotar os edifícios de adequadas condições de protecção contra incêndio e, também, contra a ocorrência de degradação biológica.

A madeira e os produtos de madeira - materiais combustíveis, quando submetidos a elevados fluxos de calor, resultantes por exemplo da situação de deflagração de incêndio, decompõe-se libertando gases inflamáveis, responsáveis pela sua ignição. Os componentes da madeira que não se decompõem em gases voláteis transformam-se em carvão, isolando termicamente e fisicamente a madeira não carbonizada. Esta característica intrínseca do material possibilita uma excelente protecção natural face ao ataque do fogo (Sweet, 1993). Ainda assim, é possível melhorar o desempenho da madeira, face à acção do fogo, através de tratamentos químicos retardadores de combustão, que melhoram o seu desempenho de reacção ao fogo.

Os tratamentos de protecção química com produtos que retardam a combustão (retardadores de combustão) e conseqüentemente, o incêndio, podem ser introduzidos em profundidade, por impregnação sob pressão; superficialmente, através de um revestimento; ou no caso particular de produtos derivados de madeira, adicionados durante o seu processo de fabrico.

Em intervenções de reabilitação do património edificado, é comum que alguns elementos de madeira possam ser mantidos, enquanto outros terão de ser substituídos parcial ou totalmente, dependendo do seu estado de degradação. Visando melhorar o comportamento da madeira em termos de reacção ao fogo, mantendo os elementos já existentes, pode optar-se por aplicar tratamentos superficiais, de protecção química retardadora de combustão.

Os tratamentos químicos superficiais consistem em pinturas com tintas ou vernizes intumescentes, ou em revestimentos não intumescentes, adequados para aplicação mesmo em situação de serviço, em zonas interiores secas do edificado, em resultado da elevada higroscopicidade associada aos produtos.

No nosso país, após a realização de um estudo de mercado, acompanhado de um contacto directo com diversos fabricantes e técnicos responsáveis pela comercialização de produtos de revestimento superficial de protecção, em situação de incêndio, constata-se que existe alguma dificuldade em prestar informação quanto à aplicação, funcionamento e durabilidade destes produtos sobre elementos de madeira antigos e sua compatibilidade com tratamentos preservadores anteriores.

Na situação de manter os elementos, a madeira surge com um historial em resultado da acção contínua de agentes diversos (físicos, químicos e biológicos, por exemplo), durante o seu tempo de vida. Nestes casos, é indispensável submeter a superfície a uma adequada preparação, para garantir a aderência e o desempenho do tratamento ao fogo a aplicar, sem comprometer eventuais tratamentos prévios. A aplicação de tratamentos preservadores de carácter preventivo e curativo, antes de se proceder à protecção ao fogo, é uma situação frequente, sendo a madeira um material de origem biológica. Na reabilitação, é também comum encontrar peças de madeira com tratamentos anteriores. Importa portanto, saber que tipo de tratamento foi aplicado e conhecer a compatibilidade entre os diferentes tratamentos, não anulando o papel de cada um. Afinal, a opção pela remoção das pinturas já existentes, muitas vezes pode ser complicada de realizar ou mesmo impossível. Este tipo de informação, quando existe, é escasso e vago.

Por outro lado, o contacto com os fabricantes e técnicos dos respectivos produtos comercializados no mercado nacional, permitiu ainda constatar que existe algum desconhecimento quanto ao desempenho e funcionamento dos revestimentos ditos intumescentes e não intumescentes (conhecidos como "ignífugos").

I.2. Âmbito e Objectivos

No seguimento das considerações anteriores, pretendeu-se efectuar o presente trabalho para comparar o comportamento e a eficácia de diversas pinturas para protecção da madeira contra o fogo, quando aplicadas sobre substratos diferentes dos ideais (madeira nova e sã), no contexto da reabilitação do edificado.

Estabeleceu-se como ponto de partida, a estrutura de uma cobertura em madeira, uma vez que conjuga todos os aspectos equacionados a estudar no presente trabalho e, segundo Cruz (2012), em Portugal, corresponde provavelmente à maioria das utilizações estruturais da madeira. Optou-se por madeira maciça de Pinho bravo (*Pinus pinaster*, Ait.), uma vez que, como dominou a construção corrente a partir de meados do século XIX, sobretudo por razões económicas e de disponibilidade (Machado *et al.*, 2009), é uma espécie comum de se encontrar em situações de reabilitação de estruturas de madeira. Nesse sentido, utilizou-se madeira proveniente de uma situação de reabilitação e estabeleceram-se diversos cenários distintos representativos das situações correntes em intervenções de reabilitação de estruturas antigas, designadamente na presença de tratamentos prévios. Testaram-se variados produtos e sistemas de revestimento de protecção passiva para madeira face à acção do fogo, encontrados no mercado nacional, através da realização de um conjunto de ensaios, de âmbito exploratório, em resultado do desconhecimento e da falta de informação relativa às questões abordadas.

O objectivo deste trabalho foi então analisar o efeito de protecção ao fogo, assim como o modo de actuação de um conjunto de produtos de revestimento de protecção passiva para madeira comercializados no mercado nacional, mas também verificar as possibilidades de actuação aquando da intervenção ao nível do edificado, estudando o comportamento dos retardadores de combustão aplicados em substratos não ideais, isto é, madeira antiga danificada por organismos biológicos e submetida a diferentes tratamentos de preservação.

Para além do estudo de mercado e da parte experimental, o fundamento teórico do presente trabalho consistiu principalmente numa pesquisa bibliográfica reunindo informação sobre o comportamento da madeira, quando submetida à acção do fogo; informação sobre as Euroclasses de reacção ao fogo, no âmbito da segurança contra incêndio em edifícios; e também sobre os tratamentos químicos retardadores de combustão para suportes de aplicação de madeira.

I.3. Estrutura da Dissertação

A presente Dissertação é estruturada em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo é feito um enquadramento geral ao tema, assim como a exposição das linhas gerais que fundamentam a elaboração do presente estudo, a metodologia seguida e a organização do documento.

O segundo capítulo, que pretende desenvolver a temática da acção do fogo sobre a madeira enquanto material de construção (reacção ao fogo), no âmbito das Euroclasses, divide-se em duas secções. A primeira foca-se no comportamento da madeira quando sujeita à acção do fogo, bem como nos fenómenos que se manifestam com o aumento da temperatura, tanto a nível intrínseco como extrínseco. Já a segunda secção diz respeito à segurança contra incêndio em edifícios, começando pela legislação em vigor em Portugal, passando pelo esclarecimento do âmbito de protecção (activa ou passiva) em que se insere a temática da reacção ao fogo, pelos factores que afectam a reacção ao fogo de produtos de madeira, e terminando na exposição das bases regulamentares que sustentam as classes de desempenho em matéria de reacção ao fogo (Euroclasses), impostas pela marcação CE, para a livre circulação dos produtos de construção no Espaço Económico Europeu.

O terceiro capítulo diz respeito à protecção de madeira com químicos retardadores de combustão, onde se enquadram antecedentes e estado da arte. Na primeira secção aborda-se os retardadores de combustão, na vertente dos mecanismos de protecção desenvolvidos, quando submetido à acção do fogo. Na segunda secção aborda-se os princípios químicos activos, assim como os efeitos secundários, inerentes à adição de retardadores de combustão na madeira. Na terceira secção desenvolve-se a temática dos métodos de aplicação dos retardadores de combustão; seguindo-se uma abordagem na óptica da durabilidade das protecções e das condicionantes aquando da escolha do retardador de combustão, na quarta e na quinta secções, respectivamente. Na sexta secção são abordados os tratamentos retardadores de combustão, combinados com tratamentos de preservação, terminando o capítulo com a exposição e análise da pesquisa sobre o mercado nacional, de produtos de revestimento retardador de combustão para madeira.

No quarto capítulo é feita a descrição do trabalho experimental realizado. Numa primeira secção descrevem-se os objectivos e numa segunda secção os materiais utilizados (madeira e vernizes). A terceira secção descreve os cenários considerados no trabalho experimental. Na quarta secção foca-se a preparação a que os provetes foram sujeitos (fabrico e identificação, e preparação da superfície). A quinta secção descreve a metodologia adoptada na aplicação dos produtos a ensaiar. Na sexta secção inclui-se o procedimento, a apresentação e a análise dos resultados dos ensaios para medir a espessura de filme obtida nos provetes a ensaiar no painel radiante. Os ensaios de reacção ao fogo incorporados no trabalho experimental realizado são as últimas secções

deste capítulo, descrevendo os procedimentos dos ensaios do painel radiante e dos ensaios do objecto isolado em combustão (SBI), assim como a respectiva apresentação e análise de resultados.

No capítulo cinco apresentam-se as conclusões obtidas pelo estudo desenvolvido, bem como possíveis linhas de trabalho futuro.

Finalmente são apresentados os anexos, separados nas fases - antes e após os ensaios de reacção ao fogo, Anexo A e Anexo B, respectivamente, que incluem os dados complementares ao trabalho experimental desenvolvido.

CAPÍTULO II – ACÇÃO DO FOGO SOBRE A MADEIRA: REACÇÃO AO FOGO

A madeira é um material heterogéneo e natural, constituída por diferentes tipos de células que desempenham funções específicas na árvore. A disposição das células resulta numa anisotropia marcada, tanto nas propriedades mecânicas como nas físicas. As variações físicas e anatómicas da madeira são grandes entre espécies e dentro da mesma espécie, particularmente em função da idade, de factores genéticos e ambientais.

Sendo de origem biológica, a madeira é susceptível de deterioração, nomeadamente devido à acção de agentes biológicos, como fungos e insectos, devido à acção do fogo, uma vez que é um material combustível, bem como quando sujeito a acções mecânicas, e em menor escala, aos agentes atmosféricos, ou a determinadas acções químicas (Cruz & Nunes, 2007).

Não sendo objectivo do presente trabalho aprofundar a estrutura interna da madeira, assim como as suas propriedades físicas ou mecânicas, refere-se que os mesmos assuntos estão devidamente desenvolvidos em diversas publicações, nomeadamente em Cruz & Nunes (2007).

A madeira, sendo um material higroscópico, sofre alterações do seu teor de água em função das condições ambientais (temperatura e humidade relativa do ar) que a rodeiam, que influenciam as suas propriedades físicas e mecânicas, bem como o tipo e a velocidade de degradação do material por agentes biológicos.

No interior de edifícios, a madeira terá normalmente um teor de água entre 10 e 15%, pelo que deve ser considerado o risco de ataque por carunchos, insectos de madeira seca de ciclo larvar completo, que não têm exigências especiais relativamente ao teor de água, embora preferindo geralmente madeira seca. Estes insectos provocam a destruição da madeira onde vivem e da qual se alimentam, escavando galerias. A sua presença é normalmente denunciada pelos orifícios de saída, eventualmente acompanhados por serrim (Machado *et al.*, 2009).

Numa situação de incêndio, a madeira começa por secar por acção da temperatura. A camada carbonizada, que se forma a partir das faces expostas ao fogo, fruto da degradação térmica da madeira, protege o núcleo interior dos elementos, devido à sua baixa condutibilidade térmica. Desta forma, a temperatura na superfície exterior da madeira pode ser insuficiente para promover a progressão da carbonização, autoextinguindo-se. Esta particularidade potencia o uso da madeira em edifícios como material de construção. Contudo, é necessário avaliar o desempenho dos elementos de madeira, face à acção do fogo (do ponto de vista da reacção ao fogo, face ao presente trabalho), em resultado da sua combustibilidade.

II.1. Degradação térmica da madeira

A madeira, sendo um material combustível, na presença de uma fonte de calor e de comburente (oxigénio), desenvolve uma reacção exotérmica denominada por combustão, ocorrendo modificações nas suas propriedades físicas e químicas.

Todo o processo de decomposição e os produtos resultantes, bem como a temperatura à qual ocorre a degradação térmica da madeira, são dependentes da espécie da madeira, dos seus anéis de crescimento e do teor de água do material (Figueroa & Moraes, 2009).

O comportamento térmico da madeira pode ser descrito através de três processos, representados esquematicamente na Figura II. 1, que são:

- ❖ Pirólise;
- ❖ Ignição;
- ❖ Carbonização.

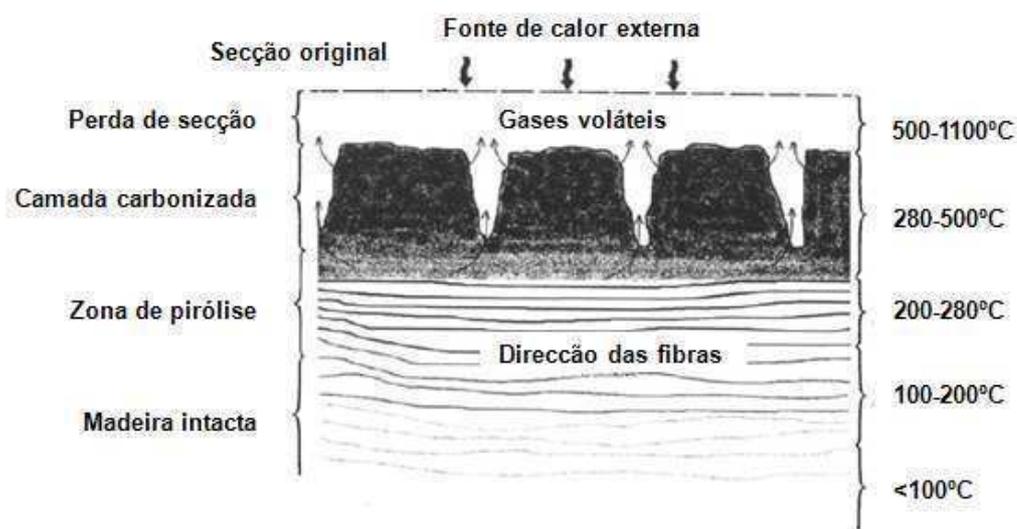


Figura II. 1 Zonas de temperatura e de degradação numa secção de madeira exposta à acção do fogo – adaptado de Friquin (2010)

II.1.1. Pirólise

A madeira é um material complexo, sendo constituída por uma mistura de polímeros naturais (celulose, hemicelulose e lenhina) e outros constituintes (extractivos) que, quando submetida à acção do calor e na ausência de oxigénio, sofre decomposições químicas irreversíveis – fenómeno denominado por pirólise.

O aumento da temperatura origina o amolecimento dos polímeros naturais da madeira, com um ponto crítico caracterizado pela sua temperatura de transição vítrea, que consiste na passagem de um estado desordenado rígido (vítreo) do polímero, para um estado desordenado maior, originando um comportamento menos rígido (Figuroa & Moraes, 2009).

Em resultado da estabilidade térmica diferenciada dos seus polímeros naturais, a degradação térmica da madeira é expressa por alguns autores (Browne, 1958; Holmes, 1977; White & Dietsberger, 2001; Russell *et al.*, 2007; Friquin, 2010), em intervalos de temperatura (Figura II. 1):

❖ Até 200°C

Ao ser aquecida, a madeira liberta vapor de água e gases, em resultado do processo de despolimerização ao nível das fronteiras químicas, caracterizado pela perda de massa. Caso o aquecimento ocorra de forma lenta, o processo é denominado por pirólise lenta.

❖ 200°C a 280°C

A degradação da camada superficial progride para o interior do elemento de madeira, originando uma nova camada na qual a pirólise se processa lentamente.

As reacções químicas que a madeira sofre são complexas, ocorrendo simultaneamente reacções endotérmicas e exotérmicas primárias sem inflamação. A temperatura a partir da qual as reacções se tornam exotérmicas é considerada em muitas definições como o ponto de ignição da madeira. Existem vários registos relativamente à temperatura de ignição da madeira: 192°C a 220°C, 232°C a 260°C, 235°C a 240°C (Pinto & Junior, 2006). Esta fase é denominada por pirólise rápida.

❖ 280°C a 500°C

Ocorrem reacções exotérmicas com a libertação de gases combustíveis, que misturados com o oxigénio do ar em proporções adequadas e expostos a uma chama piloto, podem originar a ignição da madeira.

A reduzida quantidade de oxigénio característica desta fase, promove a combustão incompleta do carvão, gerando maiores quantidades de carvão, a par com a libertação de maiores quantidades de fumo (gases combustíveis e alcatrão), formando uma suspensão de gotículas.

Nesta fase, a perda de massa é da ordem de 70% em relação à massa original.

❖ Acima de 500°C

O contínuo aumento de temperatura promove a completa carbonização da madeira, onde o próprio carvão – resíduo sólido da carbonização, acaba por se consumir.

II.1.2. Ignição

O início da combustão é marcado pela ignição que ocorre a uma temperatura suficientemente alta, dependendo do grau de ignitabilidade, com uma elevada taxa de consumo de reagentes (combustível e comburente) e de libertação de energia. A superfície da madeira entra em ignição através do fluxo de energia, ou de calor proveniente de um incêndio, ou de qualquer objecto quente. Este fluxo de energia ou calor pode ter ambas as componentes, radiação e convecção.

A ignição pode ser provocada ou ocorrer sob a forma de auto-ignição. A ignição provocada resulta da acção localizada de uma fonte de energia exterior (como por exemplo uma faísca ou uma chama), que dá origem ao processo de combustão nesse local, propagando-se de seguida à superfície remanescente (Coelho, 2010). Já a auto-ignição, que ocorre na ausência de qualquer fonte exterior de ignição, resulta de um auto-aquecimento suficientemente elevado para desencadear a própria combustão da madeira.

De acordo com Browne (1958) e Sweet (1993), a taxa de calor mínima necessária para ocorrer a ignição, na presença de uma fonte de energia exterior, é 13 kW/m^2 . White & Dietenberger (2001) menciona o intervalo de 10 a 13 kW/m^2 , para um conjunto de produtos de madeira. Já na ausência de qualquer fonte exterior de ignição, o valor de 25 kW/m^2 parece ser unânime.

II.1.3. Carbonização da madeira

A carbonização da madeira consiste na transformação da madeira em carvão, que pode ser quantificada em termos de taxa ou velocidade de carbonização, permitindo a avaliação da resistência ao fogo de estruturas de madeira, através da análise da secção residual (Figura II. 2), isto é, pela perda de secção transversal dos elementos estruturais, uma vez que se considera que a camada carbonizada não detém praticamente nenhuma resistência (White & Dietenberger, 1999). São valores típicos da taxa de carbonização da madeira 0,5 a 1 mm/min (Hakkarainen *et al.*, 2005). A EN ISO 1995-1-2 (2010) apresenta valores de projecto da taxa de carbonização de vários produtos derivados de madeira.

A temperatura a que se inicia a carbonização da madeira varia entre 288 °C e 360 °C (Friquin, 2010), sendo adoptada pela EN ISO 1995-1-2 (2010), a temperatura de 300 °C.

A taxa de carbonização depende da complexa interacção entre a pirólise da madeira e a geração de calor, ambos sendo função de um número de factores, que incluem:

❖ Exposição térmica

A taxa a que a pirólise ocorre depende da intensidade da radiação térmica; da massa volúmica de madeira disponível para absorver a energia calorífica, na medida em que varia inversamente com a taxa de degradação e consequentemente, com a taxa de carbonização (Poon & England, 2010).

❖ Espessura da camada carbonizada

A taxa de carbonização é mais rápida inicialmente, mas estabiliza, em um valor constante, após a formação de alguns milímetros de carvão, 6 mm segundo Poon & England (2010), uma vez que, tanto a madeira como o próprio carvão resultante da sua combustão, são bons isolantes térmicos, devido à sua baixa condutibilidade térmica. O carvão de madeira apresenta uma condutibilidade de cerca de 1/6 da da madeira maciça (Pinto & Junior, 2006). Esta propriedade do material dificulta a elevação da temperatura em zonas contíguas às que se encontram em combustão. Assim, a camada carbonizada retarda o fluxo de calor para o interior da secção, bem como o avanço da frente de carbonização, com a redução da velocidade de degradação térmica.

Por outro lado, Figueroa & Moraes (2009) referem que, assumir uma taxa constante de carbonização não é apropriado, nomeadamente no caso de peças de pequenas dimensões, onde os milímetros carbonizados podem representar uma porção significativa da secção transversal.

❖ Teor de água

Também o teor de água influencia a ignição da madeira, bem como a sua taxa de carbonização, na medida em que a humidade dificulta a ignição, atrasa a formação de carvão e, consequentemente, também atrasa a taxa de carbonização, enquanto ocorre a evaporação da água presente no material (Poon & England, 2010).

❖ Espécie florestal

As propriedades da madeira (por exemplo, a massa volúmica, a composição química e a permeabilidade), variam entre as diferentes espécies, que exibem diferentes comportamentos quando submetidas à acção do fogo. Para reduzidos valores de massa volúmica, menor é o período de tempo necessário para se atingir a temperatura de ignição na superfície de madeira, menor é a condutibilidade térmica na madeira e maior é a taxa de carbonização (Friquin, 2010).

❖ Dimensões das peças de madeira

As dimensões das peças de madeira, face à secção transversal, influenciam o avanço da frente de carbonização, e portanto, a taxa de carbonização, tendo em conta que, no caso de peças

de pequenas dimensões a superfície específica de exposição ao calor é maior que nas peças de grandes dimensões. Figueroa & Moraes (2009) referem que, nas peças de secção transversal rectangular, a taxa de carbonização é maior do que em peças de secção circular, uma vez que existe uma maior área de exposição ao calor nas arestas do material.

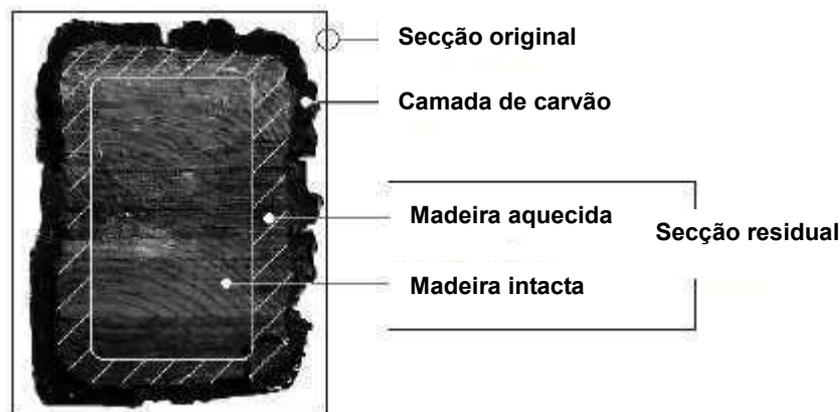


Figura II. 2 Secção de madeira carbonizada – adaptado de Pinto & Junior (2006)

Segundo White & Dietsberger (2001), dependendo do grau de exposição ao calor e consequente degradação do material, ocorrem significativas alterações das propriedades mecânicas da madeira, nomeadamente do módulo de elasticidade, podendo os efeitos serem temporários ou permanentes. Os efeitos permanentes começam a ocorrer a temperaturas superiores a 65°C, dependendo da temperatura, da humidade relativa do ar ambiente, do pH da madeira, do tempo de exposição, da espécie florestal e da dimensão do elemento de madeira. Estes efeitos manifestam-se pela perda de água de embebição e pelo amolecimento da lenhina, reflectindo-se directamente nas propriedades mecânicas da madeira. A degradação da resistência da madeira resulta, provavelmente, das reacções de despolimerização, nas quais a rotura das ligações químicas começa a ocorrer a temperaturas superiores a 100°C.

Finalmente, menciona-se que os ligadores metálicos, correntemente utilizados em elementos de madeira, são responsáveis por conduzir o calor a partir da superfície, até ao interior da ligação, acentuando a degradação térmica do elemento (Buchanan, 2000).

II.2. Segurança contra incêndio em edifícios: reacção ao fogo dos produtos de construção

Os riscos de incêndio em edifícios podem ser elevados, nomeadamente em locais com cargas de incêndio muito significativas. As razões para a ocorrência de um incêndio podem ser de origem criminosa, natural, acidental, ou resultado do processo de laboração no caso das indústrias.

Os efeitos devastadores de um incêndio são trágicos, pois colocam em risco vidas humanas, para além de destruírem bens patrimoniais e valores históricos, com custos materiais esmagadores. Com efeito, a segurança contra incêndio em edifícios é uma área de extrema importância na vida das sociedades, sendo obrigação legal e moral de todos os intervenientes na área de construção implementar a regulamentação em vigor, adoptando medidas de segurança e implementando mecanismos de protecção contra incêndio em edifícios, que visem reduzir os riscos de eclosão e propagação e, por último, que promovam a sua extinção.

Para fazer face aos riscos, e de forma a dotar os edifícios de adequadas condições de segurança ao incêndio, em Portugal está em vigor o Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RG-SCIE), aplicável a todos os edifícios e recintos de ocupação exclusiva ou mista. A referida legislação de segurança contra incêndio é composta pelo Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro, e pela Portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro, que definem respectivamente, o Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio e o Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios. A presente regulamentação, de natureza prescritiva e exigencial, tem como principais objectivos:

- ❖ Limitar o risco de ocorrência e desenvolvimento de incêndio;
- ❖ Facilitar a evacuação dos ocupantes;
- ❖ Favorecer a intervenção do corpo de bombeiros.

As medidas de segurança contra incêndio incidem em duas vertentes que se complementam:

- ❖ Protecção activa

A protecção activa consiste em medidas directas de extinção do incêndio, reunindo um conjunto de medidas de segurança que têm como objectivo alertar e actuar sobre um foco de incêndio, logo após o seu início, de forma eficaz. São exemplo, os detectores de incêndio, os extintores, as redes de incêndio armadas, assim como os sistemas automáticos de extinção de incêndio, também conhecidos por *sprinklers*.

- ❖ Protecção passiva

Já a protecção passiva passa por medidas preventivas, que têm como objectivo melhorar o comportamento frente ao fogo, de materiais e elementos de construção, de modo a minimizar os efeitos destrutivos de um incêndio. Desta forma, não desenvolve qualquer acção directa sobre o incêndio. São exemplos disso a protecção ao fogo de materiais de construção combustíveis, o aumento da estabilidade das estruturas face ao fogo, assim como a compartimentação com paredes e portas corta-fogo. Assim, é possível caracterizar o comportamento dos elementos (resistência ao fogo) e dos próprios materiais de construção (reação ao fogo).

Os elementos de construção desempenham uma determinada função, que poderá ser estrutural e/ou de compartimentação. Em situação de incêndio, é essencial que estes elementos estejam devidamente concebidos ou protegidos, para que continuem a desempenhar a função para que foram projectados, durante um determinado período de tempo. A avaliação da resistência ao fogo dos elementos de construção traduz-se pelo intervalo de tempo, expresso em minutos, durante o qual os provetes dos elementos em causa sujeitos a ensaios realizados de acordo com as normas europeias desempenham funções semelhantes, do ponto de vista de segurança ao incêndio, às que lhes são exigidas em obra (Coelho, 2010).

A natureza dos materiais utilizados nos edifícios reflecte-se no deflagrar de um incêndio, traduzindo-se pela resposta do próprio material, através da sua decomposição, ao ataque inicial do fogo, em termos do seu contributo para a origem e desenvolvimento de incêndio (Castro & Abrantes, 2009). A maior ou menor facilidade, do material, para arder e propagar o fogo, é definida pelo parâmetro reacção ao fogo, sendo avaliada com base num conjunto de ensaios normalizados, no âmbito das Euroclasses, que serão expostas mais à frente.

A legislação de segurança contra incêndio actualmente em vigor em Portugal é o reflexo da publicação de normas europeias que estabelecem as exigências regulamentares sobre esta matéria, bem como a obrigatoriedade de utilização das classificações por elas definidas, imposta pela marcação CE, para a livre circulação dos produtos de construção no Espaço Económico Europeu.

No Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro, os produtos de construção são definidos como sendo os produtos destinados a serem incorporados ou aplicados, de forma permanente, nos empreendimentos de construção. Incluem os materiais de construção, os elementos de construção e os componentes isolados ou em módulos de sistemas pré-fabricados ou instalações. No caso particular do presente trabalho, o produto de construção consiste em suportes de aplicação de madeira, aos quais são adicionados químicos retardadores de combustão (o conjunto: substrato de madeira e produto retardador de combustão aplicado).

II.2.1. Factores que afectam a reacção ao fogo de produtos de madeira

As propriedades de reacção ao fogo como a ignitabilidade, a libertação de calor, a propagação da chama e a produção de fumo, são as mais relevantes para produtos de madeira, nomeadamente quando se aplicam tratamentos químicos retardadores de combustão, no desígnio do presente trabalho.

Os materiais que libertam a sua energia química potencial de forma relativamente rápida, são mais perigosos do que aqueles que a libertam mais lentamente, dado que uma maior libertação de calor

significa que pode contribuir com mais energia para o crescimento e para o desenvolvimento do fogo do que um material com menor taxa de libertação de calor, de acordo com Sweet (1993).

Com efeito, quando a madeira alcança a temperatura de ignição, traduz a sua facilidade de ignição (ignitabilidade), em reacção à distribuição do fluxo de calor proveniente da chama e de fontes exteriores, inicia-se o avanço da chama, que consiste numa sequência de ignições, cada uma delas desencadeada por outra adjacente. Em geral, (Hakkarainen *et al.*, 2005), a taxa de propagação da chama diminui com o aumento da densidade, do teor de água e da temperatura de ignição da superfície. Por outro lado, aumenta com o fluxo de calor incidente.

O fumo produzido durante a deflagração de um incêndio é maioritariamente constituído por carbono contendo partículas que reduzem a visibilidade, de acordo com Russell *et al.* (2007). Uma elevada produção de fumo nas fases iniciais de incêndio é muito prejudicial, considerando os riscos inerentes para os utentes dos edifícios, uma vez que inviabiliza os caminhos de evacuação e as saídas de emergência, através da redução da visibilidade e dos efeitos de irritação e incapacidade provocados pelos gases resultantes da combustão. A produção de fumo depende do tipo de material em combustão e de factores externos como o tipo de fogo (com/sem chama) e do fornecimento de oxigénio.

A localização do produto de construção no edificado (tecto, parede, pavimento) é muito importante, determinando os métodos de protecção ao fogo usados para a protecção do edifício como um todo. Os tectos e as partes superiores das paredes são sempre mais críticas numa situação de incêndio do que as partes inferiores de um edifício, uma vez que o fogo tende a propagar-se no sentido ascendente, alastrando para outros compartimentos, tendencialmente através dos tectos e das partes superiores das paredes. Assim, na análise dos riscos de incêndio é essencial ter em conta a utilização final de produtos de madeira em construções (Mikkola, 2004).

II.2.2. Sistema europeu harmonizado: euroclasses, ensaios de reacção ao fogo e CWFT

Durante largos anos, os diversos países europeus regeram-se por metodologias próprias para avaliar o desempenho face ao fogo dos produtos de construção. Como não havia uma correspondência entre as várias metodologias de ensaio, o que constituía um entrave à livre circulação dos produtos de construção no Espaço Económico Europeu, houve a necessidade de criar e adoptar uma metodologia comum para eliminar os obstáculos técnicos existentes. Assim, após um longo caminho percorrido e superadas muitas dificuldades, foi criado e implementado um sistema europeu harmonizado (SEH) que visa colocar no mercado produtos de construção ensaiados e classificados de igual forma nos diversos Estados da Comunidade Europeia (Santos, 2011).

A Directiva dos Produtos da Construção (DPC), bem como o Documento Interpretativo (DI) n.º2 “Segurança em caso de incêndio”, são duas referências fundamentais que permitiram a concretização do SEH. Na primeira, uma das suas seis exigências diz respeito à segurança contra incêndio, aplicável à concepção e construção das obras, quando sujeitas a regulamentação relativa à referida exigência. Prevê o estabelecimento de classes para as exigências das obras, bem como para o desempenho dos produtos, relativos às disposições particulares de aplicação no seu uso final. A segunda referência é a ponte entre as exigências essenciais das obras e as características de desempenho dos produtos de construção, considerando três níveis de exposição para as acções térmicas (Santos, 2011):

- ❖ Pequena fonte de ignição (EN ISO 11925-2);
- ❖ Objecto (elemento) isolado em combustão (EN 13823);
- ❖ Fogo generalizado (EN ISO 1182 e EN ISO 1716).

Ainda no referido documento são enunciados os critérios relevantes para a avaliação do desempenho dos produtos, que são (Santos, 2011):

- ❖ Ignição;
- ❖ Fluxo crítico;
- ❖ Velocidade de libertação de calor (índices FIGRA e THR da EN 13823);
- ❖ Velocidade de propagação da chama (índice Fs da EN ISO 11925-2, índice LFS da EN 13823 e fluxo crítico da EN ISO 9239-1);
- ❖ Velocidade de produção de fumo (índices SMOGRA e TSP da EN 13823);
- ❖ Quantificação do fumo produzido durante o ensaio (EN ISO 9239-1);
- ❖ Gotas/partículas inflamadas e/ou combinação destas (EN ISO 11925-2 e EN 13823).

A quantificação da produção de gases tóxicos, inicialmente seria um dos critérios, no entanto não foi, por motivos diversos, considerada no SEH. Com efeito, o referido sistema deve permitir a avaliação do desempenho de reacção ao fogo dos produtos de construção considerados nas condições de utilização final, identificando os critérios relevantes para a atribuição da classificação, na medida em que o produto, dependendo das condições de aplicação final, pode responder à acção do fogo de várias formas (Mikkola, 2004).

O *Fire Regulators Group* (FRG), bem como o *Fire Laboratories Group* (FLG) tiveram uma componente activa durante o longo processo de concretização do SEH, sendo responsáveis pela concretização das actuais classes de reacção ao fogo (Euroclasses). Para o novo sistema de classificação, houve a adopção de métodos de ensaio já existentes e utilizados em vários Estados-membros. O FRG desenvolveu um método de ensaio de referência descrito na norma ISO 9705, designado correntemente por *room corner test* (ensaio de canto num compartimento), com o objectivo de facilitar o desenvolvimento do sistema de classificação, nomeadamente através da enumeração dos princípios gerais para o novo sistema. O referido organismo desenvolveu ainda

um novo método de ensaio - objecto isolado em combustão (SBI), à escala intermédia, representativo de um dos três níveis de exposição para as acções térmicas previstas no DI n.º2, definindo-se como cenário de referência – um fogo deflagrado num compartimento (Coelho, 2010).

A Directiva 93/68/CEE, de 22 de Julho de 1993 veio estabelecer o sistema de classificação de reacção ao fogo dos produtos de construção, sendo posteriormente descrito na Decisão da Comissão 2000/147/CE e concretizado na EN 13501-1, publicada em Fevereiro de 2002, que apresenta em detalhe os critérios da classificação a atribuir com base nos resultados dos ensaios normalizados. Complementarmente foi elaborada e publicada uma outra Norma Europeia (EN 13238, 2010), que estabelece as regras de condicionamento dos provetes e de selecção de suportes de referência para a aplicação dos produtos durante os ensaios, os quais se podem considerar representativos das principais soluções adoptadas em condições de uso final (Santos, 2011).

As Euroclasses de reacção ao fogo distinguem os produtos de construção em geral, excepto revestimentos de pisos (maioritariamente paredes e revestimentos de tectos), e os produtos destinados a revestimentos de piso. A aplicação da classificação geral ao caso particular dos produtos lineares de isolamento térmico de tubagens foi adaptada.

Na norma EN 13501-1 (2007) são apresentadas as classes que integram o referido sistema de classificação, e indicados os métodos europeus de ensaio relevantes e os critérios de classificação fundamentais e complementares aplicáveis – apresentados no presente trabalho nos Quadros II. 1 e 2 referentes (apenas) aos produtos de construção em geral e aos produtos destinados a revestimentos de piso, respectivamente.

As classes de desempenho em matéria de reacção ao fogo para produtos de construção, excluindo revestimentos de piso (Quadro II. 1) e destinados a revestimentos de piso (Quadro II. 2), vão de A a F e A_{fl} a F_{fl} , respectivamente (fl em língua inglesa, de *floorings*). À classe F (F_{fl}) é associada a indicação de “desempenho não determinado”. A um produto que não satisfaça os requisitos da classe E (E_{fl}) é atribuída a classe F (F_{fl}), traduzindo-se num desempenho particularmente desfavorável face à acção do fogo (em alguns Estados-membros a classe mínima aceite para os produtos de construção é a classe E (E_{fl})). No entanto, para a generalidade das classes, um produto incluído numa determinada classe satisfaz as exigências impostas à classe imediatamente inferior, uma vez que é sujeito a condições mais gravosas do que as da classe inferior. Exceptua-se os produtos das classes A1 (A_{1fl}), devido ao facto de serem considerados não-combustíveis (ou praticamente não combustíveis), e naturalmente, os produtos das classes F (F_{fl}) (Coelho, 2010).

Refira-se que, nas classes A1 (A_{1fl}), A2 (A_{2fl}) e F (F_{fl}), apenas as características intrínsecas dos produtos são relevantes, visto que se quantifica a sua contribuição numa situação de fogo generalizado (EN ISO 1182 e EN ISO 1716). As classes B (B_{fl}) a E (E_{fl}) são atribuídas em função das características inerentes aos produtos a ensaiar, assim como em função das condições particulares de aplicação e de utilização final, visto que a quantificação é feita com base na situação de acção

de uma pequena fonte de ignição (EN ISO 11925-2) e do efeito de um objecto (elemento) isolado em combustão (EN 13823) (caso particular dos produtos de construção em geral, excepto revestimentos de piso). Com efeito, considera-se que as Euroclasses quantificam ou qualificam os parâmetros relevantes do desempenho dos produtos face aos três níveis de solicitação térmica anteriormente mencionados (Santos, 2011).

Conforme já invocado, são diversos os parâmetros relevantes para o desempenho dos produtos de construção considerados no DI n.º2, nomeadamente a quantificação do calor total libertado (THR), a produção total de fumo (TSP), a propagação lateral da chama (LFS), a extensão da propagação da chama (Fs), bem como a preocupação de minimizar o risco para os utentes durante os momentos iniciais de deflagração de um incêndio, nomeadamente em termos de produção de calor ou de fumo. A produção “moderada” numa fase inicial pode constituir um risco superior àquele que corresponde à produção de uma quantidade superior numa fase mais adiantada do incêndio, razão pela qual foram introduzidos os índices *FIGRA* (do inglês *Fire Growth Rate*, taxa de desenvolvimento do fogo) e *SMOGRA* (do inglês *Smoke Growth Rate*, taxa de desenvolvimento de fumo), que se definem, respectivamente, como o valor máximo do quociente entre a taxa de libertação de calor e o tempo de ensaio em que ocorre, e o valor máximo do quociente entre a taxa de produção de fumo e o tempo de ensaio em que ocorre (Santos, 2011). O Quadro II. 3 sintetiza os índices adoptados para os critérios das Euroclasses.

Foram elaboradas cinco normas europeias que servem de base ao sistema europeu de classificação de reacção ao fogo. As referidas normas descrevem, de forma detalhada, os métodos de ensaio destinados à avaliação do desempenho ao fogo dos produtos de construção, sendo:

- ❖ EN ISO 1182 – Ensaio de não-combustibilidade (forno ISO);
- ❖ EN ISO 1716 – Ensaio do calorímetro (bomba calorimétrica);
- ❖ EN 13823 – Ensaio SBI (do inglês *Single Burning Item*, elemento isolado em combustão);
- ❖ EN ISO 11925-2 – Ensaio de ignitabilidade (ensaio da pequena chama);
- ❖ EN ISO 9239-1 – Ensaio do painel radiante.

Sendo objecto deste trabalho a concretização de uma campanha experimental com o intuito de efectuar ensaios de reacção ao fogo, mais à frente serão desenvolvidos os procedimentos de ensaio seguidos.

O sistema europeu de classificação da generalidade dos produtos de construção, com excepção dos revestimentos de piso, tem como cenário de referência um fogo deflagrado num compartimento, que pode progredir até atingir uma situação de inflamação generalizada de todos os materiais combustíveis existentes nesse compartimento (situação denominada em língua inglesa por *flashover*).

Quadro II. 1 Classes de reacção ao fogo para produtos de construção, excluindo revestimentos de piso (Santos, 2011)

Classe	Método(s) de ensaio	Crítérios de classificação	Classificação complementar
A1	EN ISO 1182 ⁽¹⁾ e	$\Delta T \leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$ e	-
		$\Delta m \leq 50 \%$ e	
		$t_f = 0$ (ausência de chamas persistentes)	
	EN ISO 1716	$\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽¹⁾ e	-
$\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽²⁾ ^(2a) e			
$\text{PCS} \leq 1,4 \text{ MJ/m}^2$ ⁽³⁾ e			
$\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽⁴⁾			
A2	EN ISO 1182 ⁽¹⁾ ou	$\Delta T \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$ e	-
		$\Delta m \leq 50 \%$ e	
		$t_f \leq 20 \text{ s}$	
	EN ISO 1716 e	$\text{PCS} \leq 3,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽¹⁾ e	-
		$\text{PCS} \leq 4,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽²⁾ e	
		$\text{PCS} \leq 4,0 \text{ MJ/m}^2$ ⁽³⁾ e	
		$\text{PCS} \leq 3,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽⁴⁾	
	EN 13823	$\text{FIGRA} \leq 120 \text{ W/s}$ e	Produção de fumo: s1 , s2 ou s3 ⁽⁵⁾ e
LFS < bordo do provete e		Gotas ou partículas inflamadas: d0 , d1 ou d2 ⁽⁶⁾	
$\text{THR}_{600\text{s}} \leq 7,5 \text{ MJ}$			
B	EN 13823 e	$\text{FIGRA} \leq 120 \text{ W/s}$ e	Produção de fumo: s1 , s2 ou s3 ⁽⁵⁾ e
		LFS < bordo do provete e	
		$\text{THR}_{600\text{s}} \leq 7,5 \text{ MJ}$	
EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ Exposição = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ em 60 s	Gotas ou partículas inflamadas: d0 , d1 ou d2 ⁽⁶⁾	
C	EN 13823 e	$\text{FIGRA} \leq 250 \text{ W/s}$ e	Produção de fumo: s1 , s2 ou s3 ⁽⁵⁾ e
		LFS < bordo do provete e	
		$\text{THR}_{600\text{s}} \leq 15 \text{ MJ}$	
EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ Exposição = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ em 60 s	Gotas ou partículas inflamadas: d0 , d1 ou d2 ⁽⁶⁾	
D	EN 13823 e	$\text{FIGRA} \leq 750 \text{ W/s}$ e	Produção de fumo: s1 , s2 ou s3 ⁽⁵⁾ e
	EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ Exposição = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ em 60 s	Gotas ou partículas inflamadas: d0 , d1 ou d2 ⁽⁶⁾
E	EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ Exposição = 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	Gotas ou partículas inflamadas: n/class. ou d2 ⁽⁷⁾
F	Desempenho não determinado		
⁽¹⁾ Para produtos homogéneos e componentes substanciais de produtos não-homogéneos.			
⁽²⁾ Para qualquer componente não-substancial externo de produtos não-homogéneos.			
^(2a) Alternativamente, qualquer componente não-substancial externo com um $\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ/m}^2$, desde que o produto satisfaça os seguintes critérios da EN 13823: $\text{FIGRA} \leq 20 \text{ W/s}$; e LFS < bordo do provete; e $\text{THR}_{600\text{s}} \leq 4,0 \text{ MJ}$; e s1; e d0.			
⁽³⁾ Para qualquer componente não-substancial interno de produtos não-homogéneos.			
⁽⁴⁾ Para o produto na sua totalidade.			
⁽⁵⁾ s1 = $\text{SMOGRA} \leq 30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e $\text{TSP}_{600\text{s}} \leq 50 \text{ m}^2$; s2 = $\text{SMOGRA} \leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e $\text{TSP}_{600\text{s}} \leq 200 \text{ m}^2$; s3 = nem s1 nem s2.			
⁽⁶⁾ d0 = Não se verifica a libertação de gotas/partículas inflamadas no ensaio EN 13823 (SBI) em 600 s; d1 = Não se verifica a libertação de gotas/partículas inflamadas com duração superior a 10 s no ensaio EN 13823 (SBI) em 600 s; d2 = nem d0 nem d1; a ignição do papel no ensaio EN ISO 11925-2 determina a classificação em d2.			
⁽⁷⁾ Satisfatório = ausência de ignição do papel (nenhuma classificação); Não-satisfatório = ignição do papel (classificação d2).			
⁽⁸⁾ Em condições de ataque da superfície pelas chamas e, se adequado às condições de utilização final do produto, de ataque da face ou aresta lateral pelas chamas.			

REACÇÃO AO FOGO DE MADEIRA ANTIGA PROTEGIDA COM REVESTIMENTOS
RETARDADORES DE COMBUSTÃO

**Quadro II. 2 Classes de reacção ao fogo para produtos de construção destinados a revestimentos de piso
(Santos, 2011)**

Classe	Método(s) de ensaio	Crítérios de classificação	Classificação complementar
A_{1fi}	EN ISO 1182 ⁽¹⁾ e	$\Delta T \leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$ e	-
		$\Delta m \leq 50 \%$ e	
		$t_f = 0$ (ausência de chamas persistentes)	
	EN ISO 1716	$PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽¹⁾ e	-
$PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽²⁾ e			
$PCS \leq 1,4 \text{ MJ/m}^2$ ⁽³⁾ e			
$PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽⁴⁾			
A_{2fi}	EN ISO 1182 ⁽¹⁾ ou	$\Delta T \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$ e	-
		$\Delta m \leq 50 \%$ e	
		$t_f \leq 20 \text{ s}$	
	EN ISO 1716 e	$PCS \leq 3,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽¹⁾ e	-
		$PCS \leq 4,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽²⁾ e	
		$PCS \leq 4,0 \text{ MJ/m}^2$ ⁽³⁾ e	
		$PCS \leq 3,0 \text{ MJ/kg}$ ⁽⁴⁾	
	EN ISO 9239-1 ⁽⁵⁾	Fluxo crítico ⁽⁶⁾ $\geq 8,0 \text{ kW/m}^2$	Produção de fumo: s1 ou s2 ⁽⁷⁾
B_{fi}	EN ISO 9239-1 ⁽⁵⁾ e	Fluxo crítico ⁽⁶⁾ $\geq 8,0 \text{ kW/m}^2$	Produção de fumo: s1 ou s2 ⁽⁷⁾
	EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ Exposição = 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	-
C_{fi}	EN ISO 9239-1 ⁽⁵⁾ e	Fluxo crítico ⁽⁶⁾ $\geq 4,5 \text{ kW/m}^2$	Produção de fumo: s1 ou s2 ⁽⁷⁾
	EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ Exposição = 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	-
D_{fi}	EN ISO 9239-1 ⁽⁵⁾ e	Fluxo crítico ⁽⁶⁾ $\geq 3,0 \text{ kW/m}^2$	Produção de fumo: s1 ou s2 ⁽⁷⁾
	EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ Exposição = 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	-
E_{fi}	EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ Exposição = 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	-
F_{fi}	Desempenho não determinado		
⁽¹⁾ Para produtos homogéneos e componentes substanciais de produtos não-homogéneos.			
⁽²⁾ Para qualquer componente não-substancial externo de produtos não-homogéneos.			
⁽³⁾ Para qualquer componente não-substancial interno de produtos não-homogéneos.			
⁽⁴⁾ Para o produto na sua totalidade.			
⁽⁵⁾ Duração do ensaio = 30 minutos.			
⁽⁶⁾ O fluxo crítico é definido como o fluxo radiante para o qual a chama se extingue ou o fluxo radiante após um período de ensaio de 30 minutos, consoante o que for mais reduzido (ou seja, o fluxo corresponde à extensão máxima de propagação da chama).			
⁽⁷⁾ s1 = Fumo $\leq 750 \%$.min; s2 = Não s1.			
⁽⁸⁾ Em condições de ataque da superfície pelas chamas e, se adequado às condições de utilização final do produto, de ataque do bordo pelas chamas.			

Geralmente, os produtos de madeira não tratada inserem-se na classe D quando a massa volúmica é de pelo menos 400 kg/m^3 . Para massas volúmicas inferiores, caem normalmente na classe E. No caso de madeira destinada a revestimentos de piso, mantém-se a classe D_{fi}. Relativamente à classificação complementar de produção de fumo, os produtos de madeira obtêm s1 ou s2, e d0, para a classificação complementar referente à queda de partículas. Já com a aplicação de retardadores de combustão, é possível melhorar as classes de reacção ao fogo de produtos de madeira de classe D para C e B (Mikkola, 2004).

Quadro II. 3 Índices adoptados para os critérios das Euroclasses – adaptado do Anexo I do Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro

Índices	Crítérios das Euroclasses
ΔT	Aumento de temperatura (°C)
Δm	Perda de massa (%)
t_f	Tempo de presença da chama (duração da chamas persistentes) (s)
PCS	Poder calorífico superior (MJ/kg, MJ/kg ² ou MJ/m ² , consoante os casos)
FIGRA	Taxa de propagação do fogo (W/s ¹)
THR _{600s}	Calor total libertado em 600 s (MJ)
LFS	Propagação lateral da chama (comparado com o bordo da amostra) (m)
SMOGRA	Taxa de propagação do fumo (m ² /s ²)
TSP _{600s}	Produção total de fumo em 600 s (m ²)
F _s	Propagação das chamas (mm)
-	Libertação de gotículas ou partículas inflamadas
Fluxo crítico	Fluxo radiante correspondente à extensão máxima da chama (só para pavimentos) (kW/m ²)

Na regulamentação Portuguesa, as exigências de reacção ao fogo (Portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro) estão de acordo com o SEH - formuladas, portanto, em termos das classes europeias descritas no Anexo I do (Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro).

As classificações complementares do SEH - produção de fumo e queda de partículas inflamadas, tendo em conta a sua adopção ser de carácter livre, foram consideradas relevantes na actual legislação nacional.

Com a adopção do SEH, a anterior classificação nacional foi substituída pelas novas Euroclasses. Tendo em conta a existência de produtos no mercado, ensaiados e classificados sob os métodos de ensaio e os critérios de classificação nacionais anteriores, na nova regulamentação (Portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro) foram incluídos quadros de “equivalência” entre as classes nacionais e as actuais classificações europeias. Contudo, devido às diferenças existentes entre os métodos de ensaio e os critérios que lhe servem de suporte, Santos (2011) refere que não é possível estabelecer uma equivalência geral, directa e exacta, entre as diferentes classificações, pelo que as antigas classes devem ser retiradas, tanto da actual regulamentação, como da utilização prática corrente. Acrescenta que tais “equivalências” colocam em causa a segurança contra incêndio em locais em que sejam utilizados certos produtos seleccionados com base nos referidos quadros.

Para facilitar o processo de harmonização e minimizar os custos para os fabricantes, relativamente aos produtos cujo desempenho em matéria de reacção ao fogo é bem conhecido e fundamentado, há a opção da atribuição de uma “classificação sem necessidade de ensaio”, CWFT (em língua inglesa, *Classification Without Further Testing*). Assim, surgiram listas de produtos (ou famílias de produtos) CWFT, para os quais a estabilidade da classificação é assumida, tendo em consideração a variabilidade inerente ao produto, bem como através do estabelecimento de margens de segurança adequadas em relação aos valores limite das classes de reacção ao fogo atribuídas.

A primeira lista a surgir abrange os produtos que apresentam uma contribuição insignificante para a deflagração, o desenvolvimento e a propagação do incêndio, sendo-lhes atribuída a classe A1 (A1_f) sem necessidade de ensaio (Coelho, 2010).

Entretanto, o CWFT também foi aplicado a várias famílias de produtos de madeira: placas de derivados de madeira, madeira estrutural, madeira lamelada colada, painéis de madeira de revestimento e madeira de pavimentos. Acrescenta-se que a maioria dos referidos produtos de madeira recebe classe D-s2,d0 ou, pelo menos, classe D_f-s1, e alguns C_f-s1, no caso de revestimentos de piso (Östman & Mikkola, 2006).

A declaração da classe de reacção ao fogo, obrigatória para muitos dos produtos de construção aplicados nas obras, incide sobre o produto colocado no mercado, o que em muitos casos não corresponde às condições de aplicação final do respectivo produto. É o caso dos retardadores de combustão, que são colocados no mercado separadamente do produto ou dos elementos de construção a que se destinam, sendo aplicados *in situ* (ETAG 028, 2009).

Assim, como a reacção ao fogo do revestimento superficial é afectada pelo suporte em que está directamente aplicado, pela forma de aplicação e, eventualmente, por outros produtos subjacentes, em última análise, é da responsabilidade do fabricante de um produto realizar ensaios e obter/declarar uma classificação específica que cubra uma ou várias utilizações finais particulares, segundo Santos (2011).

CAPÍTULO III – PROTECÇÃO DA MADEIRA AO FOGO COM RETARDADORES DE COMBUSTÃO

A protecção da madeira, com conseqüente incremento do seu comportamento face à acção do fogo, é viabilizada através de sistemas químicos ou mecânicos. Os sistemas de protecção química serão adequadamente desenvolvidos no presente trabalho. Já os sistemas de protecção mecânica, consistindo na interposição de barreiras protectoras, por meio de revestimentos com painéis isolantes (placas de gesso, por exemplo), são uma solução, sobretudo quando não há imposições de ordem estética, mas caem fora do âmbito desta Dissertação.

Os retardadores de combustão para madeira visam melhorar o seu desempenho de reacção ao fogo e, segundo White & Diitenberger (2010), podem ou não afectar a resistência ao fogo do elemento de madeira. São geralmente designados em língua inglesa por *Fire Retardant Treatments for Wood* (FRTW), tendo-se optado por defini-los como tratamentos retardadores de combustão, por afectarem o processo de combustão, que resulta da acção do fogo sobre a própria madeira.

A ETAG 028 (2009) define os produtos retardadores de combustão (*fire retardant product*), como um suplemento, líquido ou pastoso, que, quando aplicado no substrato, melhora uma ou mais características de reacção ao fogo do substrato.

Os textos consultados (Holmes, 1977; Sweet, 1993; Hakkarainen *et al.*, 2005; White & Diitenberger, 2010) referem que, a madeira e os produtos derivados de madeira ao serem tratados com retardadores de combustão manifestam, geralmente, um atraso da ignição (redução da ignitabilidade), redução da taxa de libertação de calor e, ainda, diminuição da propagação da chama. Na Figura III. 1 é notória a taxa de libertação de calor (em língua inglesa, *heat release rate*) marcadamente reduzida, com a aplicação de tratamento retardador de combustão (em língua inglesa, *fire retardant treatment*), ao longo do tempo. Não obstante, os tratamentos não tornam os substratos de madeira não-combustíveis.

A abordagem, nos trabalhos publicados, da influência dos retardadores de combustão na produção de fumo não é consensual, na medida em que, Holmes (1977), Sweet (1993) e White & Diitenberger (2010) referem que a aplicação dos tratamentos retardadores de combustão geralmente reduz a produção de fumo (Figura III. 1); no entanto, White & Diitenberger (2001) estabelecem que para elevados níveis de tratamento com retardadores de combustão, a produção de fumo pode aumentar. Hakkarainen *et al.* (2005) mencionam que o aumento da produção de fumo, com a aplicação dos retardadores de combustão, é uma suposição comum, uma vez que os referidos tratamentos podem causar uma combustão incompleta. No entanto, estes autores acrescentam que os retardadores de combustão podem também reduzir a produção de fumo, complementando que se um adequado

tratamento dificulta o processo de combustão, também reduz a produção de fumo, citando inclusive o provérbio “não há fumo, sem fogo”.

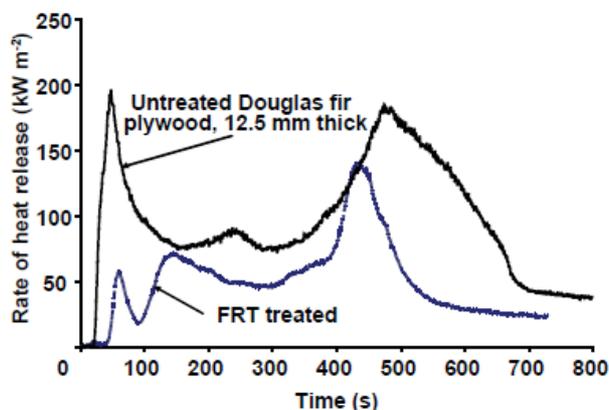


Figura III. 1 Curvas de libertação de calor em contraplacados de madeira Douglas fir de 12,5 mm de espessura, tratada e não tratada com retardador de combustão (White & Dietenberger, 2010)

Wen-li *et al.* (2009) analisaram a aplicação de uma solução de *dicyandiamide*, ácido fosfórico, ácido bórico e trietanolamina, com propriedades retardadoras de combustão de baixa toxicidade, por impregnação sob pressão, em duas espécies de madeira, e concluíram que, por um lado, o retardador de combustão utilizado não contém metais pesados, ou outra substância tóxica, pelo que, quando usado, não irá poluir o meio-ambiente ou ser prejudicial para a saúde dos utentes do local de aplicação. Por outro lado, a produção de fumo durante o processo de pirólise da madeira tratada não foi expressiva. Finalizam mencionando as boas propriedades retardadoras de combustão demonstradas pela solução aplicada.

Vários são os estudos que têm sido desenvolvidos ao longo do tempo, abordando a temática dos tratamentos retardadores de combustão e categorizando-os de várias vertentes, sempre na óptica da protecção do substrato de madeira, face ao ataque do fogo. As categorias possíveis incluem: i) os seus mecanismos de actuação responsáveis por reduzir o processo de combustão; ii) os princípios químicos activos; iii) os processos de aplicação na madeira e produtos derivados de madeira; iv) durabilidade, face ao uso final (interior ou exterior dos edifícios); e v) exigências do produto e respectivo processo de aplicação, que vão condicionar a escolha do retardador de combustão. As várias categorias serão adequadamente desenvolvidas no presente capítulo, dando-se especial atenção aos vários processos possíveis de aplicação dos retardadores de combustão na madeira, atendendo aos objectivos, já pré-definidos, do presente trabalho.

É também abordada a combinação de tratamentos de protecção ao fogo e de preservação, finalizando-se o presente capítulo com os resultados da pesquisa de mercado, referente aos produtos de revestimento superficial de protecção passiva para madeira comercializados no mercado nacional.

III.1. Mecanismos de actuação dos retardadores de combustão na madeira

São vários os autores que ao longo do tempo têm apresentado diversas teorias sobre a actuação dos retardadores de combustão, quando aplicados em substratos de madeira e submetidos a elevadas temperaturas. Russell *et al.* (2007), apresentando uma revisão do estado de arte da matéria, refere que, dependendo da natureza dos retardadores de combustão, estes podem actuar a nível químico e/ou físico, interferindo numa determinada fase do processo de combustão, visando melhorar o desempenho de reacção ao fogo do substrato, atrasando a ignição da madeira e/ou reduzindo a libertação de calor. As técnicas de actuação predominantes são (Hakkarainen *et al.*, 2005):

- ❖ Alteração das reacções de pirólise, promovendo a formação de carvão e a redução da temperatura à qual se inicia a pirólise;
- ❖ Formação de camadas termicamente isolantes que permitem a protecção da superfície, atrasando o aumento da temperatura e reduzindo a libertação dos gases da pirólise e o acesso de oxigénio à superfície do substrato. Estes efeitos são consumados pelos revestimentos intumescentes, que serão oportunamente desenvolvidos;
- ❖ Alteração das propriedades térmicas da madeira, afectando a densidade, o potencial calorífico e a condutibilidade térmica, uma vez que a água tem um potencial calorífico maior do que a madeira seca, e o seu aquecimento e evaporação, permitem o consumo de energia;
- ❖ Diluição dos gases resultantes da pirólise através da sua conversão, de gases voláteis (inflamáveis) em gases inertes, como o vapor de água e o dióxido de carbono;
- ❖ Inibição das reacções em cadeia da combustão na fase gasosa, e conseqüentemente, redução da própria combustão. Esta técnica é pouco usada para produtos derivados de madeira, devido a questões ambientais.

Geralmente, os sistemas com propriedades retardadoras de combustão combinam diferentes mecanismos, com o objectivo de tornar o tratamento mais eficiente e criar sinergias. Browne (1958), Levan & Winandy (1990), bem como Sweet (1993), referem que a maioria dos retardadores de combustão comerciais para madeira parecem conjugar o aumento da formação de carvão com a redução dos gases voláteis. Hakkarainen *et al.* (2005) denuncia que, no caso específico do isolamento de revestimento intumescente, é frequente combinar o efeito termicamente isolante com componentes que modificam as reacções de pirólise.

III.2. Princípio químico activo e efeitos dos retardadores de combustão na madeira

As formulações químicas dos retardadores de combustão estão intrinsecamente relacionadas com o desempenho alcançado face à acção do fogo, por outro lado, também influenciam os efeitos secundários desencadeados pela aplicação dos tratamentos químicos à madeira. A magnitude dos efeitos indesejados depende também do modo de aplicação (Still *et al.*, 1991). Consequentemente, ao longo dos anos, vários trabalhos têm sido desenvolvidos, visando encontrar novas formulações e soluções, para otimizar o comportamento dos retardadores de combustão na madeira, contornando os efeitos secundários. Ainda assim, Qu *et al.* (2010) referem que, apesar dos vários esforços, as formulações químicas “óptimas” ainda não estão adequadamente identificadas, sendo portanto necessário o desenvolvimento de novos estudos.

Os retardadores de combustão mais comuns são os sais inorgânicos, que possibilitam alcançar um desempenho favorável face à acção do fogo. Existe uma grande diversidade de formulações químicas, com custos variáveis. Estes sais incluem fosfato de amónio, sulfato de amónio, ácido bórico, cloreto de zinco e borato de sódio (White & Dietenberger, 2010).

Os sais inorgânicos são usados em madeira aplicada em ambiente interior, fruto da solubilidade em água. Quando aplicados no exterior, ou submetidos a repetidos processos de limpeza, sofrem lixiviação, isto é, ocorre a migração dos sais na madeira devido às variações de teor de água, com perda de eficiência.

A madeira tratada com sais inorgânicos regista um aumento de higroscopicidade, face à madeira não tratada, dependendo do grau de retenção das soluções químicas e da dimensão das peças de madeira envolvidas. O aumento é particularmente significativo para humidades relativas do ar elevadas (acima de 75 %, por exemplo) (Östman *et al.*, 2001).

A alternativa passa por utilizar retardadores de combustão orgânicos, à base de ureia, melamina e ácido fosfórico, insolúveis em água (Russell *et al.*, 2007).

Vários estudos têm demonstrado os efeitos dos retardadores de combustão, ao nível das propriedades mecânicas dos elementos de madeira, desenvolvendo-se várias hipóteses sobre as razões que levam à ocorrência de perdas de resistência e rigidez. Levan & Winandy (1990), apresentando uma revisão do estado da arte, abordam os vários factores que influenciam a redução de resistência da madeira tratada, como sendo: o processo de degradação térmica da madeira; o mecanismo de actuação dos químicos retardadores de combustão, o efeito de ácidos presentes nas formulações dos retardadores de combustão aplicados; a influencia da temperatura na resistência; e a combinação dos efeitos, dos químicos retardadores de combustão e da temperatura, na resistência.

O processo de degradação está directamente associado às condições de temperatura e de humidade relativa do ar, em que o retardador de combustão se encontra aplicado, razão pela qual, a redução das propriedades mecânicas da madeira é especialmente significativa sob acção de temperaturas continuamente elevadas, como é o caso das aplicações em coberturas, tendo-se registado inúmeras situações problemáticas no passado (Winandy *et al.*, 1991). White & Sweet (1992) apresentam uma extensa revisão dos trabalhos desenvolvidos até então.

Lebow & Winandy (1999) avaliaram a relação entre o pH da madeira e as propriedades mecânicas de contraplacado tratado com retardadores de combustão, exposto a temperaturas elevadas, tendo observado que o contraplacado tratado com retardadores de combustão regista uma rápida diminuição de pH, notando-se uma forte relação entre essa diminuição e a redução das suas propriedades mecânicas. Estes autores concluem que o pH do contraplacado tratado com retradores de combustão é um potencial indicador da sua futura perda de propriedades mecânicas, quando submetido a elevadas temperaturas de serviço.

Anthony & Drerup (2011) apresentam um estudo das propriedades mecânicas de treliças de madeira serrada, ligadas por placas de metal, removidas da cobertura de um edifício após 20 anos de serviço, tratadas (originalmente) com um retardador de combustão, tendo sido sujeitas a ensaios de flexão e de tracção, segundo as normas ASTM aplicáveis. Concluíram que a resistência mecânica da madeira tratada removida do edifício, é cerca de metade, face à madeira não tratada da mesma espécie. Ao compararem com dados já publicados, sugerem que a perda de resistência é progressiva ao longo do tempo, descartando a situação de uma simples redução aquando do fabrico.

A aplicação de retardadores de combustão em elementos de madeira com ligadores metálicos, influencia o comportamento das próprias ligações, na medida em que, sendo os retardadores de combustão, geralmente, ácidos ou alcalinos, em ambos os casos vão afectar os ligadores e/ou as ligações, durante o tempo de vida útil do elemento de madeira. Östman *et al.* (2001) referem que o processo de corrosão é ainda mais acentuado quando ocorre a libertação de gases corrosivos ou ácidos, durante o processo de degradação térmica, bem como em ambientes com elevada humidade relativa do ar.

III.3. Técnicas de aplicação dos retardadores de combustão na madeira

Na perspectiva dos métodos de aplicação dos tratamentos retardadores de combustão para a madeira, refira-se que estes podem passar por:

- ❖ Impregnação da madeira com um retardador de combustão sob pressão ou vácuo;
- ❖ Adição de um retardador de combustão por tratamento da superfície;

- ❖ Adição de um retardador de combustão, num produto derivado de madeira, durante o seu processo de fabrico.

Acrescenta-se ainda que, entretanto, têm sido desenvolvidos novos processos de protecção ao fogo, como o tratamento com gás de boro, a modificação da madeira e o tratamento com retardador de combustão à base de sistemas nanocompósitos, este último ainda numa fase inicial (Hakkarainen *et al.*, 2005). Importa que, em virtude dos objectivos anteriormente definidos para o presente trabalho, serão devidamente desenvolvidos os dois processos fundamentais de aplicação destes tratamentos em madeira estrutural: os tratamentos em profundidade e de superfície. Como o próprio nome sugere, é a profundidade de penetração do retardador de combustão, que melhor distingue os dois tratamentos.

III.3.1. Tratamento em profundidade

Nos tratamentos em profundidade, a madeira é impregnada sob pressão ou vácuo em autoclave, com soluções químicas, usando processos de aplicação semelhantes aos dos tratamentos de preservação. Esta secção baseia-se amplamente no trabalho desenvolvido por Hakkarainen *et al.* (2005), Russell *et al.* (2007), e White & Dietsberger (2010).

O grau de penetração das soluções químicas retardadoras de combustão na madeira depende de um conjunto de factores, como a espécie de madeira, a sua estrutura interna, o seu teor de água, bem como das próprias dimensões das peças de madeira. O sucesso da protecção conferida depende do grau de retenção e de impregnação, conseguida pelo retardador de combustão, pelo que as espécies de madeira de difícil impregnação podem ser sujeitas a tratamentos prévios, que incluem a incisão mecânica ou a perfuração e para algumas espécies o pré-vapor, que visam melhorar a penetração do retardador de combustão.

O processo de impregnação em autoclave pode ser dividido nas seguintes etapas (Figura III. 2):

- ❖ As peças de madeira preparadas para o tratamento, são introduzidas dentro da câmara de impregnação (autoclave) **(1)**;
- ❖ Fase de vácuo inicial para remoção do ar da câmara de impregnação e das células da madeira **(2)**;
- ❖ Inserção, a baixa pressão, do retardador de combustão na autoclave, mantendo o vácuo, até encher completamente a câmara **(3)**;
- ❖ Fase de pressão na autoclave, durante a qual o retardador de combustão é forçado a penetrar na madeira, até à saturação **(4)**;

- ❖ Finalizada a fase de pressão, procede-se à remoção do excesso de retardador de combustão da autoclave, retornando ao reservatório (5);
- ❖ Fase de vácuo final, para remover o excesso de solução de retardador de combustão da superfície da madeira (6).

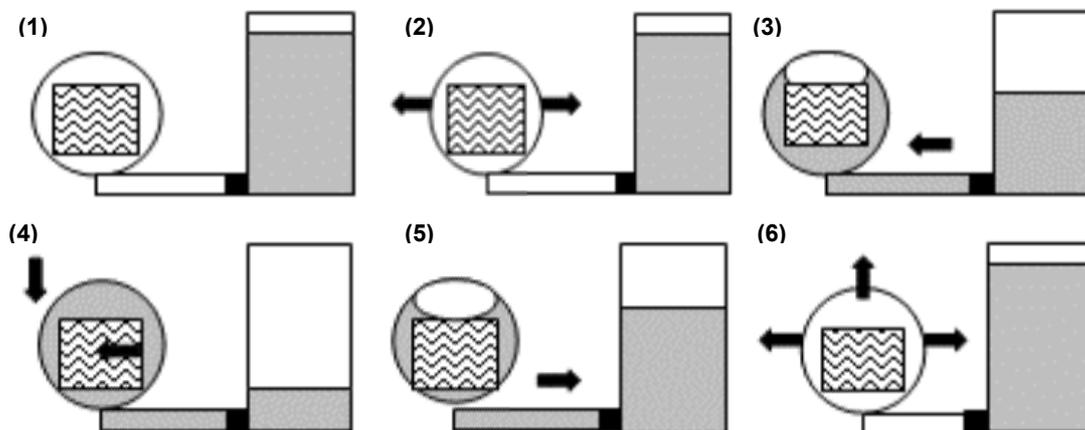


Figura III. 2 Etapas do tratamento em autoclave – adaptado de CTMT

Hakkarainen *et al.* (2005), bem como IWS Ltd (2011), mencionam que o método de tratamento em profundidade por impregnação é considerado o processo mais fiável para tratar madeira a incorporar em novos edifícios, fruto da elevada eficácia, segurança e durabilidade conseguida pelos químicos retardadores de combustão, impregnados em profundidade na câmara de impregnação (Figura III. 3). No entanto, o custo do tratamento de impregnação depende do tipo de madeira, da quantidade a tratar, da profundidade de impregnação e das soluções químicas usadas.



Figura III. 3 Equipamento de autoclave da TWBrazil

III.3.2. Tratamento de superfície

Em determinadas situações, o tratamento com retardadores de combustão por impregnação sob pressão é impraticável, demasiado onerosa ou impossível. É o caso de elementos pré-fabricados (por exemplo, paredes, portas), ou construção temporária, bem como na situação corrente de reabilitação de estruturas de madeira antiga, mantendo os elementos de madeira. Nestas situações,

na perspectiva de melhorar o desempenho de reacção ao fogo, a opção por tratamentos de superfície é uma solução apropriada, como é exemplo, o caso de estudo do presente trabalho – estrutura de cobertura de madeira antiga a manter e, na medida em que os retardadores de combustão aplicados superficialmente conseguem ser muito eficazes, de fácil aplicação, embora o controle de qualidade dos processos de tratamento de superfície seja inferior aos dos tratamentos em profundidade (Hakkarainen *et al.*, 2005). Com efeito, IWS Ltd (2011) refere que a aplicação dos revestimentos superficiais geralmente só deve ser usada para incrementar o desempenho face à acção do fogo de elementos de madeira já aplicados *in-situ* (reabilitação, reparação, manutenção e reforço).

Os tratamentos superficiais são geralmente fáceis de executar e bastante económicos (Russell *et al.*, 2007), sendo aplicados manualmente, com recurso à trincha, pistola (convencional ou airless⁽¹⁾), rolo ou imersão (Anastácio, 2010), contrapondo o equipamento necessário para a impregnação em profundidade, que pode alcançar dimensões industriais.

A protecção superficial passa pela aplicação de produtos, que tanto podem incorporar sistemas de pintura (conjunto de produtos) ou, ser aplicados individualmente, ambos associados a esquemas de pintura – segundo determinada ordem de aplicação, fixando a espessura ou o número de demãos sucessivas.

Geralmente, os retardadores de combustão para tratamentos superficiais podem ser divididos em dois grupos, de acordo com a sua forma de actuação: revestimentos intumescentes e não intumescentes. A ETAG 028 (2009), referente aos *fire retardant products* incorporados (*in situ*) em produtos de construção, também estabelece a referida divisão. Novamente, as referências principais para esta secção incluem Hakkarainen *et al.* (2005), Russell *et al.* (2007) e White & Dietenberger (2010).

III.3.2.1. Tintas e vernizes intumescentes

Os revestimentos intumescentes permitem obter elevados desempenhos face à reacção ao fogo, sendo, usualmente, muito eficientes na inibição da combustão. Hakkarainen *et al.* (2005) referem que, estes revestimentos também apresentam um comportamento favorável na vertente de resistência ao fogo, no entanto, nesta deve-se comparar os benefícios e os custos inerentes à aplicação dos revestimentos intumescentes, face ao sobredimensionamento da secção transversal, na medida em que os revestimentos, geralmente detêm um custo elevado. Já White & Dietenberger (2010) mencionam que, apesar da investigação já desenvolvida no âmbito de revestimentos intumescentes, como meio de incremento da resistência ao fogo de um elemento de madeira, não há uma aceitação geral destes produtos.

⁽¹⁾Aplicação por pulverização sem ar.

A ETAG 028 (2009) define o revestimento intumescente como sendo especificamente formulado para, uma vez aquecido, proporcionar uma reacção química, de modo a sofrer alterações físicas com a formação de uma espuma expandida (do inglês, *expanded foam*), proporcionando protecção contra o fogo às superfícies subjacentes.

Os revestimentos intumescentes são, geralmente, tintas e vernizes que formam uma película (ao fim de certo tempo) na superfície da madeira, claramente perceptível. Quando expostos a elevadas temperaturas (mas inferiores às temperaturas de combustão da madeira), estes revestimentos vão expandir fortemente, cerca de 200 vezes o seu volume, e formar uma camada resistente ao calor, termicamente isolante e de reduzida massa volúmica, na superfície da madeira. A camada expandida protege o substrato de madeira, do ataque das chamas e calor, e dificulta o acesso de oxigénio à superfície.

D'orazio *et al.* (2007), numa primeira abordagem experimental da condutibilidade térmica e da massa volúmica da camada de espuma associada ao processo intumescente, observam que a formação da estrutura multi-celular da espuma não é de todo completamente determinística, podendo portanto, em parte, justificar a variabilidade das propriedades do produto final.

Ainda assim, D'orazio *et al.* (2007) e Luneva & Petrovskaya (2008) referem que os mecanismos de protecção desenvolvidos, associados a transformações químicas dos revestimentos intumescentes, ainda não estão devidamente analisados, em resultado da sua complexidade e do facto das reacções fulcrais ocorrerem a elevadas temperaturas.

Para obter um adequado desempenho face à acção do fogo, é necessário aplicar uma camada relativamente espessa, de algumas centenas de micrometros, correspondente a um consumo da ordem dos 500 g/m².

Em resultado da expansão da camada isolante, geralmente frágil, pode ocorrer a sua rotura e a conseqüente perda de substrato, deixando a superfície de madeira desprotegida. A camada de protecção é ainda susceptível de abrasão e desgaste, resultando na perda de eficiência do retardador de combustão aplicado.

As pinturas intumescentes são particularmente higroscópicas, na medida em que a superfície revestida é muito sensível à humidade, razão pela qual é necessário aplicar uma adequada camada de acabamento e restringir o uso apenas a zonas interiores do edificado (Wade *et al.*, 2001).

Refira-se que a ETAG 028 (2009) define a camada de acabamento (do inglês, *topcoat*), como uma camada a ser aplicada sobre a superfície do revestimento retardador de combustão, protegendo-a contra a degradação devida à exposição ao ar ambiente, e também com propósitos decorativos.

Os vernizes intumescentes possibilitam manter o veio da madeira visível, podendo por isso, ser preferíveis por razões arquitectónicas.

As formulações intumescentes incluem um agente desidratante (*polyammonium phosphate*), um agente responsável pela formação de carvão (amido, glucose e *dipentaerythritol*) e um agente responsável pelo processo de expansão (ureia, melamina e parafinas cloradas).

III.3.2.2. Revestimentos não intumescentes

A ETAG 028 (2009) define os revestimentos não intumescentes em sistema de camada de encapsulamento e tratamento de impregnação da superfície. O sistema de camada de encapsulamento (do inglês, *encapsulation coating system*) é apresentado como um sistema de revestimento, que quando aplicado completamente, encapsula a superfície alcançando uma espessura de pelo menos 1 mm. O tratamento de impregnação da superfície (do inglês, *surface impregnation treatment*) é definido como, consistindo num produto líquido ou pastoso, que quando aplicado (*in situ*) a um substrato, penetra abaixo da superfície e, por secagem ou cura, deposita substâncias que conferem propriedades retardadoras de combustão. O desempenho de tais produtos depende da combinação da profundidade de penetração alcançada com a quantidade de substâncias retardadoras de combustão depositadas.

Os revestimentos não intumescentes são constituídos por substâncias semelhantes às usadas na impregnação sob pressão. Estes revestimentos, quando aplicados, não formam película, mas alteram claramente a superfície da madeira. Ainda assim, no sentido de obter um adequado desempenho face ao fogo, é importante utilizar apenas formulações químicas referentes a tratamentos de superfície, uma vez que a substituição por soluções químicas adequadas para impregnação sob pressão, geralmente não conduz a um adequado desempenho, podendo em último caso, aumentar a ignitabilidade e a libertação de calor da madeira.

Os revestimentos actuam ao nível da pirólise, maioritariamente através de meios químicos. No entanto, devido à aptidão para desenvolver uma ligeira expansão, podem também actuar em parte, através de meios físicos, de acordo com o fenómeno descrito nos revestimentos intumescentes, ainda que de forma menos significativa.

As composições químicas dos produtos de revestimento não intumescente incluem sais solúveis em água, como fosfato de amónio, sulfato de amónio e borato de sódio.

Acrescenta-se que Hakkarainen *et al.* (2005), referem que a profundidade de penetração dos tratamentos de superfície é, geralmente, da ordem de 1 mm ou menos.

III.4. Durabilidade dos retardadores de combustão na madeira

Para além do desempenho de reacção ao fogo que os tratamentos retardadores de combustão permitem alcançar, é ainda necessário garantir que esse desempenho se prolonga durante o tempo de vida útil dos elementos onde são aplicados, atendendo aos efeitos adversos que estes tratamentos induzem nas propriedades da madeira, conforme já mencionado. Assim, pode ser necessário proceder a acções de manutenção com alguma regularidade.

Como qualquer material biológico, a madeira é susceptível de degradação provocada por agentes diversos do meio ambiente em que se insere, razão pela qual a maioria dos tratamentos retardadores de combustão apresenta limitações de durabilidade, nomeadamente quando aplicados em exterior. Também em condições de exposição interior, as limitações de durabilidade fazem-se sentir, mas de uma forma menos significativa. No Quadro III. 1 são apresentados os factores ambientais que influenciam as propriedades da madeira tratada.

São vários os trabalhos (Levan & Holmes, 1986; Winandy, 1995; Wade *et al.*, 2001; Östman *et al.*, 2006; Harada *et al.*, 2009) que têm sido desenvolvidos ao longo do tempo com o objectivo de avaliar as limitações de durabilidade das protecções químicas, quando aplicadas em madeira, face à acção de agentes ambientais.

O princípio geral de avaliação da durabilidade de madeira tratada com retardadores de combustão baseia-se na comparação do desempenho de reacção ao fogo, antes e após ter sido sujeita às adequadas condições ambientais, de acordo com a utilização final.

Quadro III. 1 Factores ambientais que influenciam as propriedades da madeira tratada – adaptado de Östman *et al.* (2001)

Factor ambiental	Efeito
Contacto com a água;	Lixiviação dos componentes;
Radiação ultravioleta (UV);	Perda de resistência mecânica;
Temperatura;	Descoloração;
Oxigénio;	Alterações físicas (fissuras, perda de material).
Poluentes atmosféricos.	

Refere-se o trabalho desenvolvido por Chuang *et al.* (2010), no qual foi avaliada a influência do ciclo molhagem-secagem no comportamento ao fogo de contraplacado de *red lauan* (*Parashorea sp.*) protegido com um revestimento (de camada fina) intumescente, através do ensaio do cone calorimétrico, e conclui que o desempenho, face à acção do fogo, diminui com o aumento do número de ciclos molhagem-secagem, em resultado da maior perda de material responsável pelo revestimento do substrato. Complementa-se que, a ETAG 028 (2009) estabelece que, o fabricante do produto retardador de combustão deve ser consultado, no fim do período de vida útil do revestimento (5 anos), para equacionar a sua manutenção ou substituição.

Segundo Östman *et al.* (2001), os tratamentos de impregnação sob pressão têm maiores possibilidades de alcançar maior durabilidade, comparativamente com os revestimentos superficiais. Em ambos os tratamentos, um adequado processo de aplicação influencia favoravelmente a durabilidade da protecção, bem como as propriedades dos próprios retardadores de combustão adicionados à madeira.

A prEN 15912 (2009), em termos de durabilidade de madeira tratada com retardadores de combustão, distingue as aplicações em interior e exterior com o objectivo de garantir que o desempenho de reacção ao fogo (a integridade da protecção aplicada) permanece ao longo do tempo e que o produto é adequado para o uso pretendido. A avaliação é estabelecida com base nas propriedades higroscópicas do tratamento retardador de combustão (tanto em aplicações de interior como de exterior), ao nível de alterações do teor de água, uma vez que um retardador de combustão com elevada higroscopicidade pode levar à migração e perda do tratamento ao fogo durante o tempo de vida do elemento onde foi aplicado, resultando numa redução do desempenho ao fogo, conforme já referido. No caso de a madeira ser aplicada em exterior, a prEN 15912 (2009) especifica que a avaliação do desempenho ao fogo tem de ser verificada em provetes de ensaio previamente sujeitos a severas condições que simulam as intempéries.

III.5. Condicionantes na escolha do retardador de combustão

A escolha do retardador de combustão (relativamente ao produto em si e às exigências inerentes ao processo de aplicação) depende de um conjunto de factores que devem ser considerados, na medida em que os problemas de durabilidade podem ser eliminados ou, pelo menos, atenuados. São eles (Hakkarainen *et al.*, 2005):

- ❖ Tipo de substrato de madeira;
- ❖ Regulamentos/normas que têm de ser satisfeitos;
- ❖ Edifício novo ou reabilitação;
- ❖ Condições ambiente durante a vida útil;
- ❖ Condições de instalação.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos com o objectivo de analisar as possíveis situações relacionadas com os factores acima descritos, como é o caso do presente trabalho. No Quadro III. 2 são apresentadas as possíveis vantagens e desvantagens da opção por tratamentos em profundidade ou superficiais.

Quadro III. 2 Possíveis vantagens e desvantagens de tratamentos em profundidade e superficiais com retardadores de combustão em madeira – adaptado de IWS Ltd (2011)

Tratamentos de impregnação	Revestimentos superficiais
Aplicado em fábrica;	Aplicado <i>in situ</i> ;
Permite maior controle das condições de aplicação (rastreadibilidade);	Menor controle das condições de aplicação;
Impregnação em todas as faces;	Aplicação apenas nas faces acessíveis;
Durabilidade é igual ao tempo de vida útil do edifício, desde que não esteja sujeito a longos períodos de intempérie.	Re-aplicação após o período de vida útil;
-	Formação de película intumescente;
-	Susceptível de abrasão e desgaste, em resultado da película de filme à superfície.

III.6. Combinação de tratamentos retardadores de combustão e de preservação

Ao longo dos tempos, vários retardadores de combustão têm sido combinados com preservadores de madeira, para fazer face tanto à acção do fogo, como da biodegradação, sobre a madeira. Existem várias formas de combinar um sistema de tratamento retardador de combustão e preservador de madeira, que são:

- ❖ Modificação de um produto preservador de madeira, adequado para aplicações em contacto com o solo, através da adição de um químico retardador de combustão;
- ❖ Tratamento da madeira com produtos retardadores de combustão convencionais que demonstram boas características biocidas;
- ❖ Tratamento da madeira com produtos preservadores convencionais que demonstram boas características face à acção do fogo;
- ❖ Modificação inorgânica da madeira.

White & Sweet (1992) apresentaram uma extensa revisão do estado da arte abrangendo o período de 1956-1992. Desde 1992, vários estudos foram desenvolvidos, destacando-se a revisão do estado da arte feito por Russell *et al.* (2007) e Marney & Russell (2008), que se focaram na impregnação de madeira com produtos químicos, que permitem alcançar boas características de protecção face ao ataque do fogo e da biodegradação, visando aplicações em exterior. Marney & Russell (2008) observaram que a dupla funcionalidade dos componentes de boro tem sido explorada para alcançar tanto boas características face à acção do fogo, como face à biodegradação. A questão da lixiviação associada aos componentes de boro tem sido contornada recorrendo a processos de fixação, que tornam o boro inacessível à água durante o tempo de vida útil da madeira. Concluíram que existe uma falta de consistência nos testes de avaliação das referidas propriedades e que, geralmente, é necessário um conjunto complexo de procedimentos para completar o tratamento.

III.7. Pesquisa de mercado de produtos de revestimentos retardadores de combustão para madeira

III.7.1. Âmbito e metodologia

Este subcapítulo consiste na apresentação e análise da pesquisa de mercado de produtos de revestimentos retardadores de combustão para madeira, realizado com o objectivo de complementar os aspectos teóricos desenvolvidos nos subcapítulos anteriores e seleccionar os produtos a utilizar na campanha experimental. Esta componente do trabalho permitiu conhecer a oferta do mercado nacional, bem como auxiliar a selecção de vários produtos de pintura a incorporar na campanha experimental do presente trabalho.

Começou-se por procurar soluções ao nível do mercado nacional, através da consulta de bibliografia da área, nomeadamente publicações científicas e informação disponível na Web, relacionada com o assunto em estudo. O desenrolar da pesquisa veio denotar que a oferta de soluções por pintura para protecção ao fogo é variada. No entanto, a oferta de soluções de protecção ao fogo por impregnação sob pressão é extremamente limitada, quase inexistente, provavelmente devido ao equipamento que o tratamento em questão requer e o custo associado, entre outros factores. Não se optou por alargar a procura ao mercado internacional, nomeadamente para os tratamentos em profundidade, dado que a pesquisa de mercado não pretende ser exaustiva, mas elucidativa das soluções que existem.

No decorrer da pesquisa foram recolhidas as fichas técnicas dos produtos de protecção ao fogo para madeira, bem como informações relevantes, nomeadamente quando as especificações técnicas não estavam disponíveis, o que acontecia mais vezes do que era expectável. Nestas situações, estabeleceu-se o contacto com os técnicos/fabricantes, de forma a ter acesso às fichas técnicas em falta. As especificações técnicas analisadas revelaram-se diversificadas ao nível de formatos, bem como de conteúdos, por vezes incompletas, com uma vertente de índole comercial e não técnica, conforme já anteriormente observado por Anastácio (2010). Este facto pode levar a más decisões na escolha dos produtos a usar, em última análise, ao nível do consumidor.

III.7.2. Apresentação de resultados

A partir das especificações técnicas conseguidas e da informação recolhida, elaborou-se quadros de apoio, com os aspectos considerados mais relevantes para os produtos de revestimento que conferem protecção passiva para madeira, com o intuito de sintetizar todo o trabalho de pesquisa feito, bem como a informação obtida pela análise das fichas técnicas.

Os aspectos considerados mais relevantes para os produtos de revestimento incluem:

- ❖ Marca comercial responsável pela comercialização e/ou fabrico do produto;
- ❖ Nome comercial do produto;
- ❖ Tipo de protecção que confere (intumescente e/ou não intumescente);
- ❖ Campo de aplicação (interior e/ou exterior);
- ❖ Tipo de solvente (aquoso ou orgânico);
- ❖ Condições de aplicação (temperatura, humidade relativa do ar e teor de água);
- ❖ Processos de aplicação recomendados (pistola convencional, airless⁽¹⁾, trincha, rolo e/ou imersão);
- ❖ Necessidade ou não da aplicação de primário e/ou de acabamentos;
- ❖ Possibilidade ou não de o suporte estar sujeito a acções mecânicas.

O Quadro III. 3 apresenta os vernizes e impregnantes que conferem protecção passiva ao fogo para madeira, aplicados por pintura, identificados na pesquisa de mercado nacional. Já o Quadro III. 4 reúne a informação relativa às tintas de protecção ao fogo, encontradas no mercado nacional.

O preenchimento dos quadros foi efectuado respeitando as informações disponíveis para os vários produtos em estudo, fazendo-se apenas referência às características encontradas nas especificações técnicas ou nos elementos disponibilizados pelos técnicos/fabricantes contactados, o que não implica que os produtos não possam ser utilizados fora do âmbito delimitado, ou aplicados com métodos diferentes, devendo cada caso ser analisado e autorizado pelo fabricante e/ou técnico respectivo. Os produtos incorporados nos quadros foram ordenados por ordem alfabética da marca comercial.

⁽¹⁾Aplicação por pulverização sem ar.

Quadro III. 3 Mercado nacional de vernizes e impregnantes de protecção ao fogo para madeira

Marca	Produto	Características gerais																
		Tipo de protecção		Campo de aplicação		Solvente		Condições de aplicação			Processo de aplicação					Primário ⁽²⁾	Acabamento ⁽³⁾	Acções mecânicas ⁽⁴⁾
		Intumescente	"Ignífugo" ⁽¹⁾	Interiores	Exteriores	Aquoso	Orgânico	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)	Teor de água (%)	Pistola	Airless	Trincha	Rolo	Imersão			
Barbot	Verniz Intumescente e Ignífugo Aquoso Ref.1699	X	X	X		X					X	X	X	X		X		
Cin ⁽⁶⁾	C-THERM LAC-Verniz Intumescente	X		X			X	5-45	0-85		X	X	X	X		X	X	
	C-THERM VARNISH GLOSS		X	X				5-45	0-85		X	X	X	X		X		
	C-THERM VARNISH SATIN		X	X				5-45	0-85		X	X	X	X		X		
Kar	Verniz Anti-fogo 1317		X				X	20			X	X	X					X
Matesica ⁽⁷⁾	Verniz Ignífugo ref.306		X	X		X				10 ⁽⁵⁾	X		X	X		X	X	
	Firemat ref.337 - Verniz Biocomponente Intumescente	X		X		X			0-60	15 ⁽⁵⁾			X	X		X	X	
Rikor	HCA TR	X		X		X			0-70	15 ⁽⁵⁾	X	X	X	X		X	X	
	HCA 2020		X			X							X		X		X	
Robbialac	Verniz Intumescente B.I.P.887-1801	X		X				20	60		X		X			X	X	
Teprocil	Verniz Ignífugo ref.333		X	X	X					10 ⁽⁵⁾	X		X	X				
Titan	Verniz Intumescente COD.166	X		X				5-40	0-85				X	X				

⁽¹⁾ Corresponde à protecção não intumescente.

⁽²⁾ Produtos que prevêm aplicação prévia de um primário.

⁽³⁾ Produtos que prevêm acabamentos posteriores à sua aplicação.

⁽⁴⁾ Apropriado em suportes de madeira expostos a acções mecânicas tais como portas, janelas, mobiliário em geral e pavimentos.

⁽⁵⁾ Valor máximo.

⁽⁶⁾ É possível encontrar os mesmos produtos sob a marca Sotinco - marca pertencente ao grupo Cin.

⁽⁷⁾ É possível encontrar os mesmos produtos sob a marca Teprocil - revendedores da Matesica.

Quadro III. 4 Mercado nacional de tintas de protecção ao fogo para madeira

Marca	Produto	Características gerais																
		Tipo de protecção		Campo aplicação		Solvente		Condições de aplicação			Processo de aplicação					Primário ⁽²⁾	Acabamento ⁽³⁾	Acções mecânicas ⁽⁴⁾
		Intumescente	"Ignífugo" ⁽¹⁾	Interiores	Exteriores	Aquoso	Orgânico	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)	Teor de água (%)	Pistola	Airless	Trincha	Rolo	Imersão			
Barbot	Tinta Intumescente Aquosa Ref.1700	X		X		X					X	X	X	X			X	
Cin ⁽⁶⁾	C-THERM AQUA-Tinta Intumescente	X		X	X ⁽⁵⁾	X		5-45	0-85		X	X	X	X		X	X	
Kar	Tinta Anti-fogo 1314		X	X				20			X	X	X					
Matesica ⁽⁷⁾	Fogo-stop ref.ª150					X			0-50		X		X	X			X	
Neuce	U12 - Tinta Anti-fogo - Revestimento Intumescente	X				X					X	X	X	X			X	
Potro	Potro-fire - revestimento anti-fogo	X				X					X		X	X			X	
Titan	Tinta Intumescente COD.165	X		X				5-40	0-85			X	X	X			X	

⁽¹⁾ Corresponde à protecção não intumescente.

⁽²⁾ Produtos que prevêm aplicação prévia de um primário.

⁽³⁾ Produtos que prevêm acabamentos posteriores à sua aplicação.

⁽⁴⁾ Apropriado em suportes de madeira expostos a acções mecânicas tais como portas, janelas, mobiliário em geral e pavimentos.

⁽⁵⁾ Mediante a aplicação de um produto de acabamento.

⁽⁶⁾ É possível encontrar os mesmos produtos sob a marca Sotinco - marca pertencente ao grupo Cin.

⁽⁷⁾ É possível encontrar os mesmos produtos sob a marca Teprocil - revendedores da Matesica.

III.7.3. Análise de resultados

O objectivo deste subcapítulo prende-se, a partir dos Quadros III. 3 e III. 4 e das informações obtidas junto dos técnicos/fabricantes, efectuar uma análise das características técnicas, incluindo o modo de aplicação, funcionamento, eficácia e durabilidade dos produtos de protecção ao fogo aplicados por pintura. No âmbito do uso de pinturas com propriedades retardadoras de combustão, na campanha experimental, interessa também mencionar as informações/soluções encontradas pelos técnicos quando confrontados com o cenário do caso de estudo ou situação similar. Por outro lado, também interessa perceber a distinção que é feita, ao nível do mercado nacional, entre um produto com propriedades intumescentes e um “produto ignífugo”, que no presente trabalho é referido como não intumescente; assim como, saber quando se deve usar um em detrimento do outro e as particularidades de cada um.

Pela observação dos Quadros III. 3 e III. 4, sobressai a falta de informação considerada relevante no presente trabalho, a qual não consta nas especificações técnicas, ou então não é exposta de forma clara e perceptível.

A realização do estudo de mercado veio salientar as dúvidas referentes ao que é denominado convencionalmente por “produto ignífugo”:

- ❖ Os elementos de um edifício sobre os quais a sua aplicação é adequada/eficaz – aplicar num lambril de um corredor, numa sanca ou na estrutura de uma cobertura de madeira, terá a mesma eficácia?
- ❖ Quais as situações em que se justifica a sua aplicação em detrimento do uso de um intumescente?
- ❖ Promove a protecção do substrato e/ou da segurança dos utentes?
- ❖ Quais são as limitações deste tratamento, comparativamente com o tratamento com um produto intumescente?

Nomeadamente porque parece haver uma catalogação de produtos, pouco criteriosa. Podemos ter um produto catalogado como “tinta intumescente” na especificação técnica e mais à frente é dito que deve ser usado para a “ignifugação da madeira” (7B-730 C-Therm Aqua da Cin). Parece, portanto, haver um uso indevido dos termos “intumescente” e “ignífugo”, o que pode conduzir à especificação e aplicação de produtos não adequados, e não eficazes - “falsa segurança”, colocando em perigo vidas humanas. Refere-se que alguns dos técnicos/fabricantes contactados, também partilham da mesma posição.

Há sistemas de pintura em que a aplicação do sistema de pintura completo confere protecção intumescente e “ignífuga” (Sistema B.I.P. da Robbialac). O sistema passa pela aplicação de um primário, seguido de um verniz com propriedades intumescente e finalizando com um verniz

de acabamento. Não é claro qual o interveniente que confere a protecção “ignífuga”. Da mesma forma, encontrou-se um sistema composto por um único produto, cujo nome comercial inclui os termos intumescente e “ignífugo” (Fire Control – Verniz Intumescente e Ignífugo Aquoso da Barbot).

Nas especificações técnicas dos vários produtos, o modo de actuação do “ignífugo” é apresentado de formas diversas: como sendo um “retardador da propagação do fogo” e que “não liberta gases tóxicos, sob a acção da chama” (Verniz Ignífugo Ref.^a306 da Matesica); “não arde” (Barnais Ignífugo da Teais), ou “depois de secas, as películas são dificilmente inflamáveis”, referindo ainda que conferem “boa resistência a choques” (Tinta Anti-fogo 1314 e Verniz Anti-fogo 1317, da Kar).

Já o intumescente, “quando exposto à acção das chamas, desenvolve uma espuma espessa e microporosa, que isola termicamente o suporte da fonte de calor e da presença de oxigénio, evitando a propagação da chama” (Firemat Ref.^a 337 da Matesica).

O intumescente só pode ser aplicado em interiores, uma vez que em locais de contacto directo com a intempérie, a eficácia do produto fica comprometida. No entanto, há especificações que sugerem que, com o devido acabamento, podem-se aplicar no exterior – “locais susceptíveis de serem molhados”, como é o caso do 7B-730 C-Therm Aqua da Cin, que indica como acabamento o 76-330C-Therm Aqua Enamel, também da Cin.

O referido acabamento passa pela aplicação de verniz de acabamento, que normalmente tem a função de selar o sistema, criar uma barreira à humidade ambiente e proteger a camada intumescente, que pode ser pegajosa e, por norma, sensível a acções mecânicas. Geralmente, os produtos intumescentes são inapropriados para suportes sujeitos a acções mecânicas tais como portas, janelas, mobiliário em geral e pavimentos.

Já o “ignífugo” é referido como “resistente a ambientes húmidos, à lavagem” (Barnais Ignífugo da Teais).

A lixagem intermédia permite aumentar o grau de aderência entre camadas. Em algumas especificações técnicas é recomendada, ao passo que noutras não é referida. No entanto, o contacto com os técnicos/fabricantes revelou que o referido passo pode ser opcional, tendo em consideração as características do substrato.

Por último, refere-se que as especificações técnicas dos produtos de pintura de protecção passiva existentes no mercado nacional são pensadas para uma situação em que, no caso de um substrato não virgem (com tratamentos pré-existent), a aplicação passa por remover/decapar os produtos anteriormente aplicados, efectuar uma adequada preparação da superfície e por fim proceder à aplicação dos sistemas de pintura, onde intervêm vários produtos.

CAPÍTULO IV – CAMPANHA EXPERIMENTAL

IV.1. Objectivos

O propósito do trabalho experimental desenvolvido foi avaliar a reacção ao fogo de elementos de madeira com função estrutural, protegidos por produtos de revestimento de protecção passiva contra o fogo, em vários cenários distintos, correspondentes a diferentes situações possíveis e opções correntes em reabilitação de estruturas de cobertura de madeira – ponto de partida do presente trabalho (caso de estudo).

Os objectivos principais do trabalho experimental eram:

- ❖ Observar o desempenho de diversos produtos ou sistemas comerciais de revestimento para protecção passiva de madeira contra o fogo, designadamente ditos intumescentes ou não intumescentes, e compreender o seu funcionamento;
- ❖ Verificar eventuais diferenças de comportamento e de eficácia de cada um desses produtos quando aplicados sobre substratos diferentes dos ideais (madeira limpa e sã), correspondentes às condições correntes em intervenções de reabilitação de estruturas antigas – designadamente quando aplicados sobre madeira com ataque por insectos e/ou com tratamentos prévios.

Esta informação será relevante para decidir da eventual imprescindibilidade, antes de aplicar a protecção passiva contra o fogo, de remover totalmente anteriores pinturas aplicadas à madeira, como é o caso corrente de produtos oleosos, ou mesmo óleo queimado, usados com o objectivo de proteger a madeira contra agentes biológicos. Permite também perceber até que ponto a degradação da madeira por caruncho e/ou a presença de tratamentos preservadores aplicados previamente podem alterar a reacção ao fogo de elementos estruturais de madeira tratados com produtos de revestimento de protecção passiva contra o fogo.

Pretendendo-se essencialmente uma análise comparativa de vários produtos e da sua aplicação em diversos cenários, optou-se pela realização de ensaios de reacção ao fogo por exposição a painel radiante segundo a EN ISO 9239-1 (2010), o que permitiu a consideração de um número de variáveis relativamente alargado.

No entanto, dado que esta Dissertação de Mestrado tem em vista a protecção passiva contra o fogo de estruturas de madeira por pintura, tinha também interesse relacionar os resultados de ensaios do painel radiante com os de ensaios *single burning item* (SBI), uma vez que são mais representativos das condições de utilização final de exposição ao fogo dos elementos estruturais (EN 13823, 2010).

Consequentemente, o trabalho experimental realizado teve ainda o seguinte objectivo:

- ❖ Comparar pontualmente, para um reduzido número de sistemas de protecção e cenários (condições do substrato), o desempenho obtido por recurso aos ensaios SBI e de painel radiante.

Assim, para atingir os objectivos propostos, seleccionaram-se cinco produtos (intumescentes e não intumescentes), a partir da pesquisa de mercado previamente efectuada, e procedeu-se à sua aplicação em provetes de madeira cobrindo todas as situações consideradas. Foram igualmente preparados provetes para ensaio aos quais não foi aplicado qualquer produto de protecção ao fogo. Por fim, os provetes foram sujeitos aos ensaios e procedeu-se à análise dos resultados.

IV.2. Materiais

IV.2.1. Madeira

A madeira usada para substrato no trabalho experimental é madeira de pinho bravo (*Pinus pinaster*, Ait), de três proveniências distintas: uma estrutura de cobertura antiga, madeira de soalho antiga, ambas de edifícios localizados na zona de Sintra, e madeira nova, comercializada no mercado português.

A madeira maciça proveniente das asnas de cobertura apresentava ataque intenso por caruncho pequeno, pelo que foi submetida a um tratamento químico curativo – fumigação, após a sua remoção. Admite-se que o tratamento efectuado não deixou resíduos. Superficialmente, a madeira apresenta-se oleosa e com uma tonalidade escura, o que leva a concluir que durante a vida da estrutura foram aplicados produtos oleosos, possivelmente com carácter preventivo contra os agentes biológicos.

Sabe-se que os antigos carpinteiros, pelas semelhanças de aspecto – escuro e oleoso, aplicavam por vezes óleos queimados, provenientes dos carros ou de processos industriais, em lugar de creosote ou de produtos preservadores oleosos, na protecção de elementos de madeira contra os agentes biológicos. A eficácia biocida dos referidos óleos queimados não está no entanto comprovada.

À semelhança da madeira da estrutura de cobertura, a madeira de soalho também apresentava danos provocados por ataque intenso por caruncho pequeno. Recorreu-se a esta madeira face à quantidade insuficiente da primeira, para a adequada preparação de provetes de ensaio.

IV.2.2. Vernizes

Um dos propósitos da pesquisa de mercado efectuada consistiu na selecção dos produtos a estudar. Os critérios tidos em consideração na selecção foram:

- ❖ Optou-se por usar vernizes, em detrimento de tintas, pois em intervenções de reabilitação, preferencialmente são aplicados vernizes, que formam uma película transparente, onde os veios da madeira permanecem à vista;
- ❖ Geralmente as estruturas de cobertura são zonas de difícil acesso, nomeadamente em edifícios antigos, pelo que aplicar sistemas de pintura complexos pode por vezes ser complicado. Portanto, decidiu-se seleccionar, a par de alguns sistemas de pintura, produtos que podem ser aplicados individualmente;
- ❖ Havendo uma clara diferença na forma de actuação de produtos intumescentes, relativamente aos não intumescentes, em superfícies de madeira sujeitas à acção do fogo, seleccionaram-se ambos;
- ❖ Atendeu-se ao interesse manifestado, por parte dos fabricantes contactados, em participar no presente trabalho.

Seguindo os critérios apresentados, procedeu-se à análise do Quadro III. 3 e seleccionaram-se cinco soluções de protecção: dois produtos não intumescentes (um impregnante – P1 e um verniz – P2); um produto intumescente (P3); dois sistemas de pintura, um com protecção intumescente (P4) e o outro que confere protecção intumescente e não intumescente, segundo a especificação técnica (P5). Neste trabalho, os produtos utilizados na campanha experimental, quer sejam produtos aplicados individualmente, quer conjuntos de produtos (sistema de pintura), são representados por Px, em que x = 0 representa a não aplicação de qualquer produto. A atribuição dos números não teve qualquer significado; o objectivo destas designações passa por salvaguardar a privacidade de dados técnicos cedidos pelas marcas relativamente aos produtos usados no trabalho experimental, bem como dos resultados dos ensaios.

O tipo de solvente dos produtos não foi tido em consideração na selecção, pois admite-se que o solvente evapora na sua totalidade, antes de se proceder à realização dos ensaios.

O impregnante P1, bem como o verniz P2, conferem protecção passiva à madeira, sem acção intumescente - nas respectivas especificações técnicas é utilizado o termo “ignífugo”. O P3 é referido como sendo um intumescente. A ficha técnica do sistema de pintura P4 refere que o verniz intumescente e o verniz de acabamento permitem um revestimento intumescente da madeira. A especificação técnica do P5 refere - “o filme seco do sistema é ignífugo e intumescente”. Salienta-se o facto do sistema P4 prever a aplicação de um primário (Quadro IV. 1).

Quadro IV. 1 Tipo de protecção ao fogo dos sistemas de pintura (Px) da campanha experimental, segundo as indicações dos fabricantes

Sistema de pintura	Tipo de protecção		Solvente		Sistema de pintura		
	Intumescente	"Ignífugo" ⁽¹⁾	Aquoso	Orgânico	Primário	Verniz retardador de combustão	Verniz de acabamento
P1		X	X			X	
P2		X	X			X	
P3	X			X		X	
P4	X		X	X	X	X	X
P5	X	X	X	X	X	X	X

⁽¹⁾ Corresponde à protecção não intumescente.

A especificação técnica do impregnante "ignífugo" P1 refere que o produto deve ser aplicado por vácuo, por imersão, ou por pistola de alta pressão; sendo um impregnante, deve preencher os poros em profundidade, dependendo da impregnabilidade do substrato, bem como da quantidade de produto aplicado. No entanto, conforme já referido, todos os produtos foram aplicados com trincha e o P1 não foi excepção. A decisão de aplicar com trincha foi feita com a anuência do técnico do produto, que acompanhou o processo e ajudou a definir o consumo húmido a garantir.

A presente campanha inclui sistemas de solvente aquoso e de solvente orgânico (Quadro IV. 1) o que, segundo os técnicos contactados, é um factor condicionante relativamente à uniformização da camada final, dada a maior viscosidade associada aos produtos aquosos.

Há sistemas de pintura que incluem produtos aquosos e orgânicos (Quadro IV. 1) uma vez que, como são da mesma marca comercial, a compatibilidade química é garantida.

Refere-se que, ao longo do trabalho experimental desenvolvido, os produtos serão distinguidos pela classificação atribuída pelos fabricantes referente ao tipo de protecção que cada revestimento confere: intumescente ou não intumescente (incluindo-se neste grupo o dito "ignífugo", que não desenvolve acção intumescente).

Na campanha do ensaio do painel radiante foram incorporados os cinco sistemas de protecção passiva seleccionados. Já para a campanha do ensaio do SBI, de acordo com os objectivos definidos, foram seleccionados os três sistemas que evidenciaram um melhor comportamento face à acção do fogo nos ensaios do painel radiante: o intumescente (P5) e o não intumescente (P1); tendo em conta que o ensaio prévio do sistema de protecção P4 evidenciou algumas particularidades, que sugeriam eventual interesse em incorporar o primário no respectivo sistema, o sistema P4 foi igualmente incluído nos ensaios SBI, com esta alteração.

IV.3. Definição dos cenários

IV.3.1. Campanha do painel radiante

Perante os objectivos estabelecidos para a campanha do painel radiante, procedeu-se à definição de alguns cenários (condições do substrato) passíveis de se encontrarem no caso de estudo (Quadro IV. 2). No primeiro cenário (C1), incorporou-se a madeira proveniente da estrutura da cobertura, que superficialmente apresenta produtos oleosos e demonstra traços característicos da anterior presença de caruncho. No segundo cenário (C2) decidiu-se pela madeira não tratada e não danificada por agentes biológicos (sã).

Em cada um dos cenários apresentados foi ainda considerada a situação de ser necessário tratar a madeira com um produto preservador insecticida, como forma de suster e/ou prevenir o ataque biológico antes de proceder ao tratamento de protecção ao fogo. Além das situações definidas, é ainda analisada a situação de referência, que irá servir de base de comparação e, com isto, tirar conclusões do presente trabalho.

Decidiu-se incorporar no programa experimental um provete, também de pinho bravo (*Pinus pinaster*, Ait) mas tratado com um produto preservador, à base de azóis de cobre, aplicado em profundidade (Tanalith E 3492) com uma retenção de cerca de 22 kg/m³ (massa de produto/volume de madeira). Este produto constitui uma alternativa actual aos principais produtos tradicionais à base de sais de cobre, crómio e arsénio (CCA) que, entretanto, têm vindo a sofrer fortes restrições ao nível do seu uso no espaço europeu, devido a problemas que o arsénio levanta para a saúde humana e para o ambiente (Gaspar, 2006).

Com os cenários definidos e os produtos seleccionados, realizou-se um total de 23 combinações. Por uma questão de logística e, conforme já referido, para salvaguardar a privacidade de dados técnicos e experimentais, foi adoptada uma nomenclatura para a identificação dos provetes, apresentada no Quadro IV. 3.

Quadro IV. 2 Cenários (condições do substrato) considerados na campanha do painel radiante

Cenário	C1	Madeira antiga com ataque por caruncho	com produto oleoso na superfície.
			após remoção do produto oleoso superficial.
			após remoção do produto oleoso e com um produto preservador em solvente orgânico aplicado por pincelagem.
	C2	Madeira nova e sã	sem tratamento preservador.
			com tratamento preservador em solvente orgânico aplicado por pincelagem.
			com tratamento preservador em profundidade com produto à base de azóis de cobre.

Quadro IV. 3 Nomenclatura adoptada para os cenários (condições do substrato) e produtos considerados na campanha experimental do ensaio do painel radiante

Cenário				Sistema de pintura						
				P0	P1	P2	P3	P4 ⁽¹⁾	P5	
Substrato	Madeira antiga com ataque por Caruncho	Óleo	CO	COP0	COP1	COP2	COP3	COP4	COP5	
		Limpa	CL	CLP0' e CLP0''						
		Insecticida	CI	CIP0	CIP1	CIP2	CIP3	CIP4	CIP5	
	Madeira nova e Sã	Limpa	SL	SLP0' e SLP0''		SLP1	SLP2	SLP3	SLP4	SLP5
		Insecticida	SI	SIP0						
		Azóis de cobre	ST	STP0						

⁽¹⁾ Sem aplicação do primário.

IV.3.2. Campanha do SBI

Os objectivos do presente trabalho, bem como os resultados do ensaio do painel radiante, pesaram na triagem dos cenários a incorporar na campanha do ensaio do SBI (Quadro IV. 4). O primeiro cenário (C1) representa o caso de estudo, tendo sido então, utilizada madeira proveniente da estrutura de cobertura, que superficialmente apresenta produtos oleosos e danos resultantes da anterior presença de caruncho. Em resultado das limitações de disponibilidade do referido substrato, complementou-se o cenário com madeira de soalho, também apresentando traços característicos da anterior presença de caruncho. No segundo cenário (C2), decidiu-se usar madeira nova e sã, mas com um produto preservador, à base de azóis de cobre, aplicado em profundidade.

Assim, para a campanha do SBI, ensaiou-se um total de 10 combinações (Quadro IV. 5), tendo-se adoptado a anterior filosofia relativa à nomenclatura para a identificação dos provetes.

Quadro IV. 4 Cenários (condições do substrato) considerados na campanha do SBI

Cenário	C1	Madeira antiga com ataque por caruncho	com produto oleoso na superfície.	
			após remoção do produto oleoso superficial.	
	C2	Madeira nova e sã	com tratamento preservador em profundidade com produto à base de azóis de cobre.	

Quadro IV. 5 Nomenclatura adoptada para os cenários (condições do substrato) e produtos considerados na campanha experimental do ensaio do SBI

Cenário				Sistema de pintura			
				P0	P1	P4 ⁽¹⁾	P5
Substrato	Madeira antiga com ataque por Caruncho	Óleo	CO	COP0	COP1	COP4	COP5
		Limpa	CL	CLP0	CLP1	CLP4	CLP5
	Madeira nova e Sã	Azóis de cobre	ST	STP0	STP1	-	

⁽¹⁾ Com aplicação do primário.

IV.4. Preparação dos provetes a ensaiar

IV.4.1. Fabrico e identificação dos provetes

IV.4.1.1. Campanha do painel radiante

As dimensões nominais adoptadas para os provetes foram 20 mm x 230 mm x 1050 mm. A largura (230 mm) e o comprimento (1050 mm) correspondem às medidas definidas na norma EN ISO 9239-1 (2010) a adoptar para realização do ensaio do painel radiante. Relativamente à espessura (20 mm) foi tida em consideração a norma EN 13238 (2010) e, também, as dimensões dos materiais disponíveis, de forma a otimizar o fabrico dos provetes. Para alcançar a largura pretendida, uma vez que a madeira disponível possuía uma largura inferior à mencionada, optou-se por efectuar uma junção de tábuas através da criação de uma ligação macho-fêmea segura com 5 agrafos, por provete, nas faces que não seriam sujeitas a ensaio, para impedir a separação.

Após o corte dos provetes nas dimensões referidas, procedeu-se à identificação de cada um, tendo em conta a nomenclatura apresentada no Quadro IV. 3. Os provetes resultantes das asnas de madeira retiradas da estrutura da cobertura foram separados em 2 lotes. No primeiro lote foram incorporados os provetes que incluem as faces exteriores da estrutura, que receberam o óleo. Os provetes retirados do meio das asnas (direcção longitudinal) incorporaram o segundo lote. Desta feita, os provetes do primeiro lote foram identificados com a nomenclatura CO – caruncho e óleo. Os provetes do segundo lote foram identificados com CL – caruncho e “limpa”, sobre o qual não seria aplicado nenhum produto, ou CI – caruncho e insecticida, o qual seria aplicado posteriormente.

Refere-se que o provete CLP0' apresenta as faces similares aos provetes incorporados no primeiro lote, no entanto, foi inserido no segundo lote, uma vez que a face a submeter a ensaio será a face que não apresentava o produto oleoso. O provete CLP0'' também foi obtido a partir de madeira carunchosa, contudo, nenhuma das faces apresentava produto oleoso.

Na distribuição dos provetes pelos diferentes Px, teve-se em consideração as particularidades de cada um, garantindo haver uma distribuição razoável de defeitos, bem como dos danos provocados pela anterior presença de caruncho pelos vários Px. A avaliação dos aspectos enumerados foi feita qualitativamente.

IV.4.1.2. Campanha do SBI

Cada provete incorporado na campanha do SBI é constituído por duas abas rectangulares ortogonais com dimensões nominais (altura x largura) de 1200 mm x 450 mm (aba comprida) e de 1200 mm x 150 mm (aba curta), as quais formam um diedro vertical, quando montadas no dispositivo de ensaio – visível na Figura IV. 25b. As dimensões adoptadas são inferiores às dimensões definidas na norma EN 13823 (2010), em virtude do material disponível ser limitado. Pela mesma razão, nem sempre se conseguiu assegurar exactamente as dimensões definidas. A largura conseguida, para a aba comprida, foi alcançada através da junção de vários provetes e com a criação de várias ligações macho-fêmea, seguras com agrafos, nas faces que não seriam sujeitas a ensaio, para impedir a separação. Na espessura adoptada (20 mm) foi tido em consideração o limite máximo (200 mm) referido na norma EN 13823 (2010), a dimensão adoptada para os provetes da campanha do painel radiante, e também, as dimensões dos materiais disponíveis, de forma a otimizar o fabrico dos provetes.

Concluída a montagem das abas, identificou-se cada uma, de acordo com a nomenclatura presente no Quadro IV. 5. As abas que incluem os provetes que contêm as faces exteriores da estrutura da cobertura, que receberam o óleo, foram identificadas com a nomenclatura CO – caruncho e óleo, conforme efectuado na campanha do painel radiante. Já as abas constituídas pela madeira de soalho, foram identificadas com CL – caruncho e “limpa”, sobre a qual não seria aplicado nenhum tratamento, que não a protecção ao fogo.

O procedimento adoptado na distribuição dos provetes pelos Px da campanha do painel radiante, também foi seguido na campanha do ensaio do SBI, acrescentando-se que os provetes menos danificados pela anterior presença de caruncho e com menos defeitos foram colocados no encontro das duas abas, a zona directamente afectada pela fonte de calor.

IV.4.2. Preparação da superfície

Antes da aplicação de qualquer produto é estritamente necessário efectuar uma adequada preparação da superfície, pois o resultado final é fortemente condicionado pelo estado da superfície aquando do processo de aplicação. Assim, nos provetes de madeira antiga (COPx, CIPx e CLPx), foi utilizado o compressor de ar para remover os depósitos de serrim resultante da anterior presença de caruncho, bem como poeiras, o que corresponde ao procedimento usual em obra. A madeira nova (SLPx, SIP0 e STPx) foi sujeita a um processo de lixagem com uma lixa fina - grão 120, na direcção dos veios da madeira, para regularizar a superfície dos provetes de ensaio – conforme especificações técnicas. Acrescenta-se que o provete CLP0', após a remoção dos depósitos

de serrim com o auxílio do compressor de ar, foi também sujeito ao processo de lixagem, em virtude de ter sido incorporado no segundo lote (referente à campanha do painel radiante).

Após o uso do compressor de ar nos provetes provenientes da cobertura e do soalho, os danos provocados pela anterior presença de caruncho foram evidenciados pela remoção do serrim, observando-se um aumento da superfície específica dos provetes de madeira.

Para além da adequada preparação da superfície, é também necessário garantir determinadas condições antes e durante a aplicação dos produtos. Os provetes foram armazenados na sala de ensaios do Núcleo de Estruturas de Madeira (NEM/LNEC), onde se assegurou um registo contínuo da temperatura e da humidade relativa durante o desenvolvimento do presente trabalho, através de um termohigrómetro. Os factores ambientais condicionam fortemente a aplicação de qualquer produto sobre um substrato, nomeadamente porque influenciam o teor em água da madeira, que é um material higroscópico. A determinação do teor em água da madeira foi efectuada em sobras do fabrico dos provetes, tendo-se tido especial atenção para garantir que a amostragem era representativa. Foi aplicado o procedimento da norma NP 614 (1973), por secagem em estufa, verificando-se um teor em água de $12,6 \pm 0,5$ % (Anexo A, Quadro A. 1) na madeira de cobertura antiga incorporada no ensaio do painel radiante. A madeira de soalho antiga utilizada no ensaio do SBI, registou um teor em água de $12,4 \pm 1,1$ % (Anexo A, Quadro A. 2). Tendo em conta que a madeira sã esteve armazenada na mesma sala que a madeira antiga – iguais condições ambientais, por um período de tempo considerável, antes dos ensaios ao fogo, admite-se que o teor em água na madeira sã era semelhante ao da madeira antiga (cerca de 12,5 % em média).

Os provetes identificados por SLP0, STP0, CLP0 e COP0, que apenas foram sujeitos à preparação da superfície antes dos ensaios de reacção ao fogo (sem aplicação de produtos), permaneceram todo o tempo na sala de ensaios.

IV.5. Aplicação dos produtos

Asseguradas as condições prévias do substrato, iniciou-se a aplicação dos produtos, que pressupôs todo um planeamento prévio, tendo em conta estar em jogo a aplicação de vários esquemas de pintura, que pressupõem: várias demãos a aplicar em cada esquema; respectivos tempos de secagem a serem respeitados; o consumo (húmido) a garantir em cada demão; um planeamento que permitisse a presença de técnicos/fabricantes interessados em auxiliar a aplicação dos respectivos produtos.

Antes de cada aplicação, foi feita uma análise criteriosa da respectiva ficha de segurança, de forma a ter presentes os possíveis perigos que pudessem por em risco a segurança dos intervenientes,

assim como, dos primeiros socorros a prestar no caso de algo inesperado acontecer. Todas as aplicações decorreram sem percalços.

IV.5.1. Campanha do painel radiante

Na campanha experimental do painel radiante intervêm 5 sistemas, não sendo praticável adoptar um insecticida para cada sistema. Por um lado, há marca(s) intervenientes na campanha que não possuem insecticidas na sua gama comercial, por outro lado, isso aumentaria o número de variáveis do trabalho experimental. Optou-se apenas por um insecticida em solvente orgânico, da mesma marca que o P5, admitindo-se que o solvente evapora na sua totalidade antes de se efectuarem os ensaios.

A fase de aplicação teve início com o insecticida, aplicado com trincha nos provetes identificados por SIP0 e CIPx (Figura IV. 1). O esquema de pintura (Anexo A, Quadro A. 3), adoptado para os referidos provetes, foi aplicado em 3 demãos, com aplicação das camadas subsequentes antes da secagem da anterior, e um consumo húmido de 474 g/m^2 , recomendado pelo técnico respectivo.



Figura IV. 1 Aplicação do insecticida no provete CIPx, na sala de ensaios do NEM

Os Px foram aplicados segundo os esquemas de pintura delineados nas especificações técnicas, complementados por indicações dos técnicos/fabricantes contactados e/ou presentes nas aplicações dos respectivos produtos. No corpo do texto serão apenas referidos os factores considerados relevantes para os vários esquemas de pintura Px, tendo em consideração os objectivos definidos; os demais factores são incluídos no Anexo A, Quadros A. 4 a 8.

A face de cada provete a ensaiar apresentava uma área de $0,24\text{m}^2$ – área de pequena dimensão e alguns provetes possuíam orifícios resultantes da anterior presença de caruncho. Por estas razões

optou-se pela trincha para aplicar todos os produtos envolvidos no trabalho experimental, garantindo assim um maior controlo do produto aplicado, relativamente a desperdícios. Assegurou-se também que a pintura chegava a todas as zonas da superfície a ensaiar de forma a não introduzir mais uma variável à presente campanha – já por si, em número não desprezável. A operação teve em consideração as fichas técnicas, bem como as recomendações dos técnicos/fabricantes contactados. Para cada aplicação foi usada uma trincha nova, garantindo que não havia a mistura indevida de diferentes produtos ou contaminações, inclusivé, dentro do mesmo sistema de pintura.

Cada sistema foi aplicado sobre 3 provetes – SLPx, CIPx e COPx (Figura IV. 2); optou-se por aplicar segundo a ordem apresentada: provete de madeira não tratada e sem danos resultantes de agentes biológicos – SLPx; provete sobre a qual foi previamente aplicado um produto insecticida - CIPx; e finalizou-se com o provete que apresentava uma superfície com um aspecto gorduroso e com uma tonalidade escura – COPx. A ordem adoptada permitiu garantir que os óleos presentes na superfície do provete COPx, não eram transportados pela trincha, para os restantes provetes.

A ordem de aplicação dos Px teve apenas em consideração a logística adjacente a todo o processo, conforme já mencionado.

A aplicação dos produtos de pintura foi efectuada dentro da sala de ensaios do Núcleo de Estruturas de Madeira (NEM/LNEC), mas junto da porta aberta para o exterior - zona bem ventilada, de forma a minimizar a inalação de possíveis solventes tóxicos libertados. Registaram-se no Quadro IV. 6 os valores de temperatura e de humidade relativa do ar durante a aplicação dos vernizes e complementou-se o quadro com os valores recomendados nas especificações técnicas, ou indicados pelos técnicos/fabricantes relativamente às condições ambiente, quando as fichas não os referiam. O Quadro IV. 6 evidencia que os valores registados estão de acordo com os valores recomendados.



Figura IV. 2 Provetes na sequência COP3, CIP3 e SIP3, na sala de ensaios do NEM, concluída a aplicação do sistema de protecção P3

Quadro IV. 6 Valores da temperatura e humidade relativa do ar durante a aplicação dos sistemas de pintura (P2, P3, P4 e P5) da campanha experimental do ensaio do painel radiante

Sistema de pintura	Provetes	Valores recomendados		Valores registados			
		Temperatura (°C)	Humidade relativa do ar (%)	Temperatura (°C)		Humidade relativa do ar (%)	
				Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
P2	SLP2,CIP2 e COP2	20	60	20,0	0	62,5	1
P3	SLP3,CIP3 e COP3	5-40	≤85	20,5	0	62,5	1
P4	SLP4,CIP4 e COP4	≥10	≤70	22,0	1	62,0	2
P5	SLP5,CIP5 e COP5	20	60	21,0	1	60,0	2

Efectuada a abertura dos recipientes, com recurso a uma espátula procedeu-se à homogeneização de cada produto dentro da respectiva lata, de forma a anular a possível existência de depósito de sólidos no fundo; a homogeneização foi feita de forma manual até o produto apresentar uma viscosidade adequada para aplicação.

O número de demãos a aplicar, bem como o consumo, são função da protecção ao fogo pretendida. Para os esquemas de pintura do presente trabalho, adoptou-se os valores referidos nas fichas técnicas e/ou recomendados pelos técnicos/fabricantes contactados – conforme indicado no Quadro IV. 7. O consumo húmido foi controlado através da pesagem de cada provete em balança digital, antes e durante a aplicação dos produtos – visível na Figura IV. 1.

Os tempos mínimos de secagem entre demãos foram os referidos nas especificações técnicas e o tempo de secagem final até ensaios, foi de pelo menos 20 dias. Todas as marcas foram questionadas sobre o tempo de secagem a adoptar para ensaios, dado que apenas uma das especificações técnicas usadas na campanha experimental refere o respectivo parâmetro. Perante as respostas obtidas e de forma a garantir a adequada evaporação dos solventes, optou-se pelo período de 20 dias, dado ser o maior período recomendado.

O P4 previa a aplicação de um primário, como já referido. No entanto, aquando da aplicação do sistema de pintura respectivo, auxiliada pelos próprios fabricantes, foi feito um ensaio prévio sobre uma amostra de madeira proveniente da cobertura, sem preparação prévia da superfície, que demonstrou possuir uma porosidade adequada, pelo que se optou por não aplicar o primário. Além disso, na aplicação do respectivo verniz, os provetes destinados ao sistema P4 demonstraram ser peças cerneiras, o que condiciona a capacidade de absorção. Sob recomendação dos fabricantes, procedeu-se à diluição do verniz em água (9/10). Refere-se que o esquema de pintura do verniz intumescente do P4 não previa diluição.

Quadro IV. 7 Esquemas de aplicação dos Px usados na campanha experimental

Sistema de pintura	Nº de demãos				Consumo húmido (g/m ²)				Lixagem intermédia	Auxílio de técnico/fabricante ⁽²⁾
	Primário	Verniz retardador de combustão	Verniz de acabamento	Total	Primário	Verniz retardador de combustão	Verniz de acabamento	Total		
P1	-	1	-	1	-	725	-	725	-	X
P2	-	2	-	2	-	291	-	291	X	X
P3	-	4	-	4	-	1072	-	1072	X	-
P4	1 ⁽¹⁾	1	1	3	100 ⁽¹⁾	300	75	475	-	X
P5	2	3	1	6	300	750	93	1143	-	-
⁽¹⁾ Aplicado apenas na campanha de ensaio do SBI.										
⁽²⁾ Verificou-se apenas na campanha de ensaio do painel radiante.										

Por lapso, nas duas primeiras demãos do verniz intumescente de duas componentes do sistema P5 (Quadro IV. 7), previsto com uma diluição (85% de verniz e 15% de diluente), a respectiva quantidade de diluente não foi adicionada, aplicando-se 100% de verniz. A adição de diluente tem o objectivo de assegurar uma adequada viscosidade durante a aplicação, ocorrendo depois a evaporação do solvente. A aplicação das duas primeiras demãos do verniz não diluído correu sem grandes dificuldades ao nível da uniformização da camada, no entanto de forma a respeitar a quantidade de matéria activa recomendada, na terceira demão aplicou-se o verniz diluído mas na proporção (55% de verniz e 45% de diluente). Assim, a quantidade total de matéria activa aplicada seguiu a especificação técnica.

Nos sistemas de protecção P2 e P3, protagonizaram-se 2 e 4 demãos de verniz, respectivamente (Quadro IV. 7), e entre demãos procedeu-se a uma passagem com lixa fina – grão 180, de forma a aumentar a aderência para receber a camada seguinte. No caso do sistema P2 a lixagem é referida na especificação técnica, ao passo que no sistema P3, a lixagem intermédia foi recomendada pelo técnico contactado. Refira-se ainda que, por lapso, a lixagem intermédia entre o primário e o verniz intumescente do P5, referido na especificação técnica, não foi realizada.

Decorrido o referido período de 20 dias, para garantir a secagem ao tacto e a evaporação dos solventes na sua totalidade, bem como garantir que o filme obtido em cada provete se encontrava nas devidas condições para ser sujeito a ensaio, mediu-se o comprimento, a largura e a espessura (em 6 pontos), para calcular o volume de cada provete. Procedeu-se ainda à sua pesagem e calculou-se a respectiva massa volúmica aparente – valores apresentados no Quadro IV. 8, complementado no Anexo A, Quadro A. 9.

Quadro IV. 8 Provetes de ensaio da campanha do painel radiante

Provete	Volume (m ³)	Massa (kg)	Massa volúmica (kg/m ³)
SLP0'	0,005	2,1	456,8
SLP0''	0,005	2,1	444,6
SIP0	0,005	2,6	470,3
STP0	0,006	3,6	609,6
CLP0'	0,005	2,3	478,5
CLP0''	0,005	2,3	433,2
CIP0	0,006	2,7	480,2
COP0	0,006	2,7	472,2
SLP1	0,005	2,9	540,5
CIP1	0,005	2,3	435,2
COP1	0,006	2,7	482,3
SLP2	0,005	2,5	473,1
CIP2	0,005	2,6	485,2
COP2	0,005	2,5	495,9
SLP3	0,006	2,8	513,1
CIP3	0,006	3,0	520,9
COP3	0,006	2,9	497,1
SLP4	0,006	2,7	484,3
CIP4	0,006	2,8	502,8
COP4	0,005	2,7	489,7
SLP5	0,005	2,8	524,6
CIP5	0,006	2,8	493,6
COP5	0,006	3,3	560,7

IV.5.2. Campanha do SBI

A aplicação dos Px incluídos na campanha do SBI seguiu os procedimentos anteriormente descritos, a respeito da campanha de ensaio do painel radiante. Com efeito, também foram registados os valores de temperatura e de humidade relativa do ar durante a aplicação dos Px (Quadro IV. 9), conforme efectuado na anterior campanha. Salienta-se que os valores de humidade relativa registados estavam neste caso ligeiramente acima dos valores recomendados.

Quadro IV. 9 Valores da temperatura e humidade relativa do ar durante a aplicação dos vernizes da campanha experimental do ensaio do SBI

Sistema de pintura	Provetes	Valores recomendados		Valores registados			
		Temperatura	Humidade relativa do ar	Temperatura (°C)		Humidade relativa do ar (%)	
		(°C)	(%)	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
P4	CLP4 e COP4	≥10	≤70	14,5	0,8	75,0	4,4
P5	CLP5 e COP5	20	60	14,5	0,7	73,5	4,0

Os esquemas de pintura adoptados para os sistemas seleccionados (P1, P4 e P5) são coincidentes com os da campanha do painel radiante (Quadro IV. 7), salvaguardando-se apenas que o sistema de protecção P4, na campanha do SBI, incluiu o respectivo primário. Acrescenta-se que, o auxílio dos fabricantes aquando da aplicação dos produtos só se verificou na campanha anterior.

Conforme efectuado com os provetes da campanha anterior, os provetes para ensaio do SBI também foram sujeitos aos devidos procedimentos, de forma a obter a massa volúmica aparente de cada um (Quadro IV. 10, complementado no Anexo A, Quadros A. 10 e 11).

Quadro IV. 10 Provetes de ensaio da campanha do SBI

Provete		Volume (m ³)	Massa (kg)	Massa volúmica (kg/m ³)	
				Valor individual	Média
CLP0	Aba comprida	0,013	7,3	583,2	604,8
	Aba curta	0,005	2,9	626,3	
COP0	Aba comprida	0,011	4,9	438,1	458,8
	Aba curta	0,003	1,5	479,4	
STP0	Aba comprida	0,013	7,8	587,0	605,7
	Aba curta	0,004	2,4	624,4	
CLP1	Aba comprida	0,013	5,6	441,9	506,5
	Aba curta	0,004	2,4	571,1	
COP1	Aba comprida	0,011	5,3	463,6	459,0
	Aba curta	0,003	1,6	454,4	
STP1	Aba comprida	0,013	8,1	618,1	633,7
	Aba curta	0,004	2,4	649,3	
CLP4	Aba comprida	0,013	6,9	532,5	620,7
	Aba curta	0,005	3,3	708,9	
COP4	Aba comprida	0,011	5,0	454,6	459,2
	Aba curta	0,003	1,6	463,7	
CLP5	Aba comprida	0,013	7,2	549,0	586,0
	Aba curta	0,005	3,0	623,1	
COP5	Aba comprida	0,010	4,9	477,3	509,6
	Aba curta	0,003	1,7	541,9	

Os sistemas de protecção usados têm preços bastante distintos, tendo também consumos húmidos muito diferentes. Para permitir uma comparação, apresenta-se seguidamente os custos estimados por m² de área protegida (Quadro A. 12, do Anexo A):

- ❖ P1 – 2,6 €/m²;
- ❖ P2 – 3,5 €/m²;
- ❖ P3 – 24,9 €/m²;
- ❖ P4 – 8,5 €/m² (com a aplicação do primário);
- ❖ P5 – 19,9 €/m².

IV.6. Verificação da espessura de filme dos provetes da campanha do painel radiante

A espessura da película obtida em cada provete após a aplicação dos produtos tem influência no comportamento ao fogo bem como na durabilidade da protecção preconizada. Para cada consumo húmido recomendado, a espessura de filme final obtida depende do grau de ataque por caruncho que condiciona a porosidade do substrato (impregnabilidade), dos defeitos e da quantidade de borne e cerne presentes nas peças, bem como da viscosidade dos produtos.

Para determinar a espessura de filme final obtida nos provetes da campanha do painel radiante, realizaram-se dois ensaios: **o método de ultra-sons**, complementado pelo **método de corte da cunha**, segundo a norma EN ISO 2808 (2007).

Refere-se que os ensaios para medir a espessura da película foram efectuados antes dos ensaios de reacção ao fogo do painel radiante.

IV.6.1 Procedimento

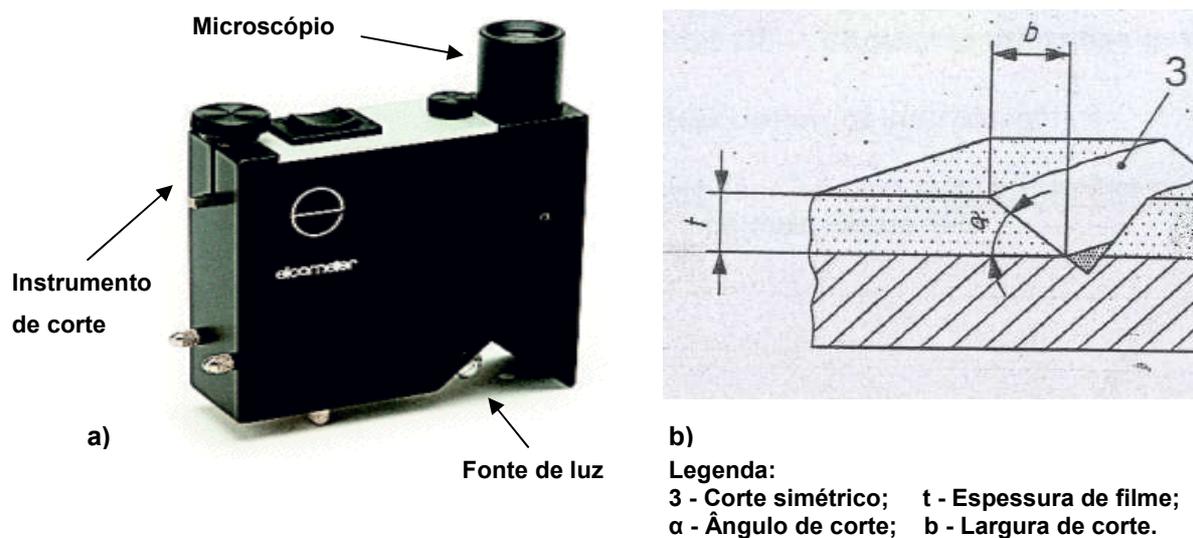
Os referidos ensaios foram efectuados na extremidade de cada provete protegido com os revestimentos de protecção passiva ao fogo, oposta àquela destinada ao ataque do painel radiante. Refere-se que a escolha da extremidade de cada provete a expor à radiação teve como critérios: as limitações impostas pelo equipamento de ensaio do painel radiante, nomeadamente a extremidade a ensaiar teria de ter um corte direito; a quantidade de defeitos do substrato; bem como a qualidade da ligação macho-fêmea.

O **método de corte da cunha** (EN ISO 2808, 2007), como o nome indica é destrutivo, sendo usado as combinações de revestimentos/substratos, para determinar a espessura presente. O Elcometer 121 (Figura IV. 3a) – equipamento usado, permite efectuar um corte em “V” simétrico, possibilitando determinar a espessura do filme, com base na relação trigonométrica entre o ângulo de corte e metade da projecção da largura do corte, medida desde o bordo do substrato – visível na Figura IV. 3b. O valor que se lê na escala graduada do microscópio iluminado é a espessura da película. O instrumento compreende três tipos de corte, influenciando a divisão da escala graduada, o máximo da escala e o ângulo de corte.

Começou-se por desenhar um traço na zona a ensaiar, com um marcador de feltro preto, para facilitar a leitura, seguindo-se o corte com o instrumento de corte seleccionado, perpendicularmente ao traço efectuado – visível na Figura IV. 4. É primordial garantir que o corte atinge o substrato – a superfície

de madeira, para que a leitura efectuada ao microscópio seja a espessura de todo o filme e não de parte do mesmo. Assim, optou-se por usar o instrumento de corte número 4 – aquele que permitiu atingir o substrato; a divisão da escala graduada correspondente é 10 μm , o máximo 1000 μm e o ângulo de corte, 26,6°.

De uma forma geral, a execução dos cortes revelou-se uma tarefa complicada, pois as películas não são suficientemente rígidas para se conseguir cortá-las, garantindo que se atinge o substrato. Em muitos dos cortes o filme foi danificado, comprometendo a leitura ao microscópio, pelo que houve necessidade de se efectuar vários cortes – visível na Figura IV. 4.



Figuras IV. 3 a) Elcometer 121; b) Representação esquemática do corte – adaptado da EN ISO 2808 (2007)

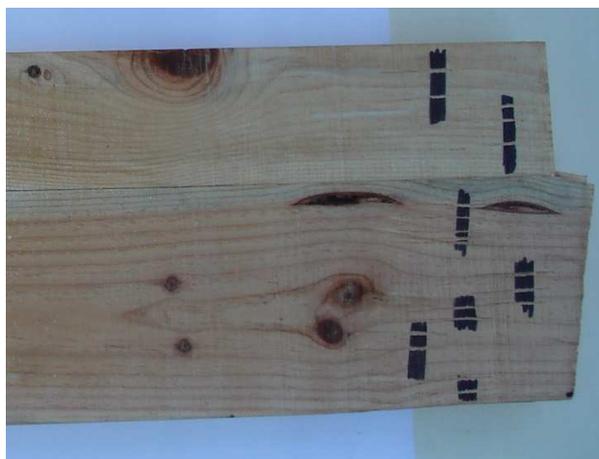


Figura IV. 4 Zona de ensaio do método de corte da cunha no provete SLP4

O outro método usado – **ultra-sons** (EN ISO 2808, 2007), também permite medir a espessura de várias camadas de revestimentos/substratos, através da propagação de ondas sonoras, sendo medido o tempo que a onda leva a percorrer a distância até à interface e o retorno até ao transdutor. Quando encontra um material com diferentes propriedades mecânicas – tipicamente

o substrato, a onda é reflectida. O Model 100 – aparelho usado, recorre apenas a um transdutor, que emite e recebe uma série de ecos e, seleccionando o eco mais forte, fornece o valor correspondente da espessura da película. A faixa de medição usada foi 0,0076-0,51 mm (8 - 500 μm), tendo em conta as propriedades das pinturas, de acordo com as recomendações do Núcleo de Materiais Orgânicos do LNEC que facultou o acesso aos equipamentos de ensaio.

Dada a heterogeneidade da madeira, o tempo de propagação das ondas é afectado por vários factores como o teor em água e defeitos da madeira, e a direcção da emissão das ondas em relação às fibras da madeira, provocando uma dispersão das ondas acústicas (Costa, 2009). Assim, para garantir que as leituras obtidas pelos ultra-sons eram fiáveis, efectuou-se primeiramente a medição pelo método de corte da cunha, seguindo-se o ensaio de ultra-sons; os valores obtidos pelos diferentes métodos foram comparados entre si, verificando-se que os valores registados eram da mesma ordem de grandeza; teve-se também em atenção a escolha dos pontos a ensaiar - evitando-se nós, fendas, e outros defeitos presentes nos provetes.

IV.6.2. Apresentação de resultados

Para cada método realizou-se um total de 5 leituras por provete (Anexo A, Quadro A. 13), efectuadas em zonas suficientemente dispersas, para registar uma maior gama de valores, e suficientemente próximas nos dois métodos usados para permitir comparar os valores obtidos.

Embora a correlação entre a quantidade de produto consumido, e a espessura de filme obtida, varie de sistema para sistema, será interessante comparar os dois parâmetros entre si (Quadro IV. 11).

Quadro IV. 11 Consumo húmido e valores médios da espessura de filme correspondentes

Provete	Consumo húmido (g/m^2)	Espessura - média (μm)	
		Corte da cunha	Ultra-sons
SLP1	725	-	52
CIP1		-	33
COP1		-	79
SLP2	291	200	177
CIP2		250	218
COP2		150	161
SLP3	1072	400	398
CIP3		500	461
COP3		400	393
SLP4	375	200	153
CIP4		200	194
COP4		150	166
SLP5	1143	400	442
CIP5		400	354
COP5		350	368

Não são apresentadas as leituras obtidas pelo método de corte da cunha para os provetes com o produto P1 (Quadro IV. 11), pois tendo em consideração a graduação da escala do corte da cunha, bem como as espessuras lidas pelos ultra-sons, os valores obtidos não são fiáveis. Sendo um impregnante, independentemente do processo de aplicação adoptado, não pareceu razoável considerar os possíveis valores lidos pelo corte da cunha, já que não parece haver formação de película.

IV.6.3. Análise de resultados

Na generalidade, os valores obtidos pelo método de corte da cunha são superiores aos de ultra-sons (Quadro IV. 11), dado que ao efectuar o corte facilmente a película era danificada, dificultando a leitura. Seria expectável que, para o mesmo consumo húmido, os provetes SLPx apresentassem uma película de maior espessura, comparativamente com os outros provetes, dado tratar-se de madeira não danificada, isto é sem orifícios provocados por agentes biológicos, para onde vai parte dos produtos aplicados. Contudo, não se observa uma diferença significativa.

Comparando as protecções passivas não intumescentes (Quadro IV. 11), nota-se que os provetes com P1 consumiram uma quantidade superior ao dobro da quantidade consumida de P2. No entanto é evidente que as espessuras das películas obtidas nos provetes de P2 são significativamente superiores às de P1. Isto confirma o pressuposto de que, sendo P1 um impregnante, não forma película como o verniz P2. Desta forma, independentemente do processo de aplicação adoptado, o impregnante P1 vai penetrar em profundidade, não formando uma película à superfície, como o verniz.

Embora não havendo uma correlação directa entre a quantidade de produto consumida e a espessura de filme obtida, constata-se que os provetes que receberam o P3 e P5 – onde foram consumidas as maiores quantidades dos sistemas usados na presente campanha, registaram globalmente as maiores espessuras finais de filme. Em rigor, o sistema de protecção P5, que corresponde à maior quantidade consumida, não corresponde às maiores espessuras obtidas, mas sim o P3. Note-se, contudo, que o sistema P5 inclui a aplicação de um primário, que tem duas funções: estabelecer a aderência e garantir que as camadas subsequentes não vão penetrar em profundidade. Assim, de certa forma, parece evidente que o uso do primário tem influência na espessura de filme final.

Sublinha-se que os ensaios efectuados, conforme já referido, fornecem apenas valores indicativos, uma vez que há toda uma gama de factores que condicionam os resultados, que podem variar de aplicação para aplicação.

IV.7. Ensaio do painel radiante

A avaliação de desempenho em matéria de reacção ao fogo dos sistemas de protecção passiva, numa primeira fase, passou pela execução do ensaio europeu do painel radiante. Este método de ensaio, descrito na norma EN ISO 9239-1 (2010), determina o fluxo crítico e a atenuação luminosa, dois parâmetros de avaliação ao fogo. O fluxo crítico, correspondente à extensão máxima da propagação da chama, avalia o desempenho dos sistemas de protecção aplicados em diversos cenários. O outro parâmetro que o ensaio avalia, é a atenuação luminosa provocada pelos fumo resultantes da combustão ao longo do tempo, que avalia o risco para os utentes durante os momentos iniciais da deflagração de um incêndio.

O ensaio tem como referência uma situação de fogo em que o revestimento de piso está sujeito a uma acção térmica radiativa provocada pela deflagração de um fogo num compartimento adjacente e comunicante com o espaço interior (zona de circulação, por exemplo) em que o revestimento está aplicado (Santos, 2011).

A obtenção da classificação em termos de reacção ao fogo dos sistemas aplicados não é de toda a finalidade da presente campanha experimental, uma vez que este ensaio é especificado para avaliar o desempenho ao fogo de produtos de construção destinados a revestimentos de piso, razão pela qual a classificação não foi incluída no presente trabalho.

A orientação do produto a ensaiar e, conseqüentemente, as condições de utilização final, podem ter influência no desempenho de reacção ao fogo dos produtos de construção, conforme é referido pela norma EN 13501-1 (2007) e por Östman & Mikkola (2006). Com efeito, o ensaio do painel radiante permite testar os produtos na horizontal, não correspondendo às condições reais de uso final dos produtos aplicados, nomeadamente porque não se destinam a revestimentos de piso. Conforme mencionado, o ponto de partida do presente trabalho é a protecção passiva de estruturas de cobertura. De qualquer modo, estes ensaios foram complementados com ensaios SBI, apresentados no subcapítulo IV.8.

IV.7.1. Procedimento

O ensaio do painel radiante tem a duração de 30 min (1800 s) e consiste na avaliação da combustão e da propagação da chama num provete colocado na horizontal, sujeito à incidência de um gradiente de fluxo térmico proveniente do painel radiante, complementado por uma chama piloto (Santos, 2011). Após a ignição no provete de ensaio, qualquer progressão da frente de chama é registada, em termos do tempo de propagação para distâncias regulamentares. Já a densidade óptica

de fumo durante o ensaio é registada em termos da transmissão de luz, através da medição da atenuação luminosa (EN ISO 9239-1, 2010).

Os parâmetros determinados no decorrer do ensaio são os seguintes:

- ❖ Fluxo crítico radiante, relativo à extensão máxima da propagação da chama, que corresponde ao fluxo de calor incidente na superfície do provete de ensaio no ponto onde a chama deixa de avançar e subsequentemente se extingue (CHF do inglês, Critical Heat Flux at extinguishment, fluxo crítico de calor na extinção), ou ao fluxo radiante incidente na frente de inflamação da superfície do provete após 30 min de ensaio (HF-30) (Coelho, 2010);
- ❖ Integral da curva de evolução ao longo do tempo da atenuação luminosa provocada pelos fumos resultantes da combustão (Coelho, 2010).

Os ensaios do painel radiante foram realizados de acordo com a norma europeia EN ISO 9239-1 (2010), no Laboratório de Ensaios de Reacção ao Fogo (LERF/LNEC), na posse de equipamento adequado. Foram ensaiados no total 23 provetes, distribuídos por 3 dias de ensaios (Anexo B, Quadro B. 1). A ordem pela qual os provetes foram ensaiados teve apenas em consideração o tempo de secagem decorrido entre o fim da aplicação de cada sistema e o respectivo ensaio (20 dias), de acordo com a ordem de aplicação adoptada - quando aplicável.

Foi necessário efectuar os procedimentos de verificação do equipamento de ensaio no início de cada jornada. Para isso foi colocado um provete padrão na câmara e procedeu-se à verificação do sistema de detecção de fumos, de acordo com o anexo A da EN ISO 9239-1 (2010). Seguiu-se a verificação do fluxo térmico (entre 10,9 kW/m² e 1,1 kW/m²), de acordo com os limites definidos na EN ISO 9239-1 (2010), correspondentes a um conjunto de distâncias (entre 110 mm e 910 mm, respectivamente) relativamente ao “ponto zero” (Figura IV. 5a, b e c, complementada no Quadro B.1 do Anexo B). Os respectivos trabalhos prévios, bem como os próprios ensaios, foram executados pelos técnicos do LERF.

A norma EN 13238 (2010) define que os provetes de ensaio devem ser condicionados num ambiente normalizado, de forma a garantir a estabilização da sua massa, 48 h antes do ensaio – temperatura de 23 ± 2 °C e humidade relativa de 50 ± 5 %. No entanto os provetes de ensaio foram mantidos na sala de ensaios do Núcleo de Estruturas de Madeira do LNEC, garantindo-se apenas o registo contínuo dos referidos parâmetros.

Os provetes de ensaio deixaram a sala de ensaios no próprio dia de ensaio, seguindo directamente para o LERF. Considerou-se que as condições estabelecidas para os ensaios no LERF (23 °C, 50 % de HR) conduzem a valores de teor em água da madeira muito distintas das verificadas na prática, em coberturas, sendo deste modo os resultados dos ensaios nas condições adoptadas mais representativos de uma situação real (Quadro IV. 12). Por lapso, o último dia de registo do termohigrómetro foi no dia 30 de Junho de 2011, pelo que os valores referentes aos dias 31 de Julho

e 1 de Agosto de 2011, relativos aos ensaios de 2 de Agosto, foram obtidos através da consulta das condições meteorológicas dos referidos dias, que podem corresponder a temperatura mais baixa e humidade mais elevada do que os valores efectivamente registados na sala.

Quadro IV. 12 Valores de temperatura e humidade relativa do ar, nas 48h antes dos respectivos dias de ensaio do painel radiante

Dia de ensaio	Temperatura (°C)		Humidade relativa do ar (%)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
25 de Maio de 2011	23,0	0,7	64,5	1,7
14 de Junho de 2011	22,0	0,6	63,0	2,6
2 de Agosto de 2011	19,0	3,2	83,0	16,2

A montagem dos provetes no suporte de ensaio correu sem grandes dificuldades, uma vez que as dimensões adoptadas são as especificadas na EN ISO 9239-1 (2010). Utilizaram-se 2 placas de fibrocimento, colocadas entre a contraface do provete de ensaio e a plataforma deslizante, para garantir que a degradação térmica do substrato tem início na superfície onde foram aplicados os sistemas de protecção - de acordo com a configuração do painel radiante apresentada na Figura IV. 5d. As placas de fibrocimento têm classificação A2_{fl} (não-combustível ou praticamente não combustível) de reacção ao fogo, fazendo parte das listas de produtos de construção de “Classificação sem necessidade de ensaio” (Santos, 2011).

Na Figura IV. 5d são apresentados os princípios de teste do painel radiante, que passam, numa fase inicial, pela colocação do provete de ensaio sobre a plataforma deslizante. Efectuadas as devidas fixações, procede-se à ignição da chama piloto e desliza-se a plataforma para dentro da câmara de teste. É o início da contagem do tempo de ensaio. Nos primeiros 120 s de ensaio actua apenas o calor radiante proveniente do painel inclinado a 30° com a horizontal, directamente sobre o provete de ensaio. A chama piloto encontra-se inflamada a 50 mm do “ponto zero” da escala, que coincide com a extremidade do provete de ensaio. Decorridos os 120 s iniciais, a chama piloto é colocada em contacto com o provete – a 10 mm do “ponto zero”. Durante os 600 s seguintes o provete é sujeito ao fluxo de energia radiante e à chama piloto, a qual é removida para a posição inicial – 50 mm do “ponto zero” e extinta, aos 720 s de ensaio. No restante tempo de ensaio, actua o calor radiante proveniente do painel e da própria combustão do provete.

Durante o ensaio é necessário registar a distância percorrida pela chama ao fim de 10 min (600 s), 20 min (1200 s) e 30 min (1800 s), e a distância máxima percorrida pela chama durante o ensaio. São ainda registados, directamente no programa informático, o momento em que a chama piloto é colocada a 10 mm do “ponto zero” do provete, aos 120 s, bem como o da sua extinção, o tempo de inflamação que corresponde aos 60 mm de propagação da chama e depois de 50 em 50 mm, até atingir os 910 mm (distâncias regulamentares). O método do ensaio determina que as inflamações que apresentam uma duração inferior ou igual a 4 s são consideradas não-persistentes, não sendo por isso contabilizadas nos registos efectuados no decorrer do ensaio (Sampaio, 2008).

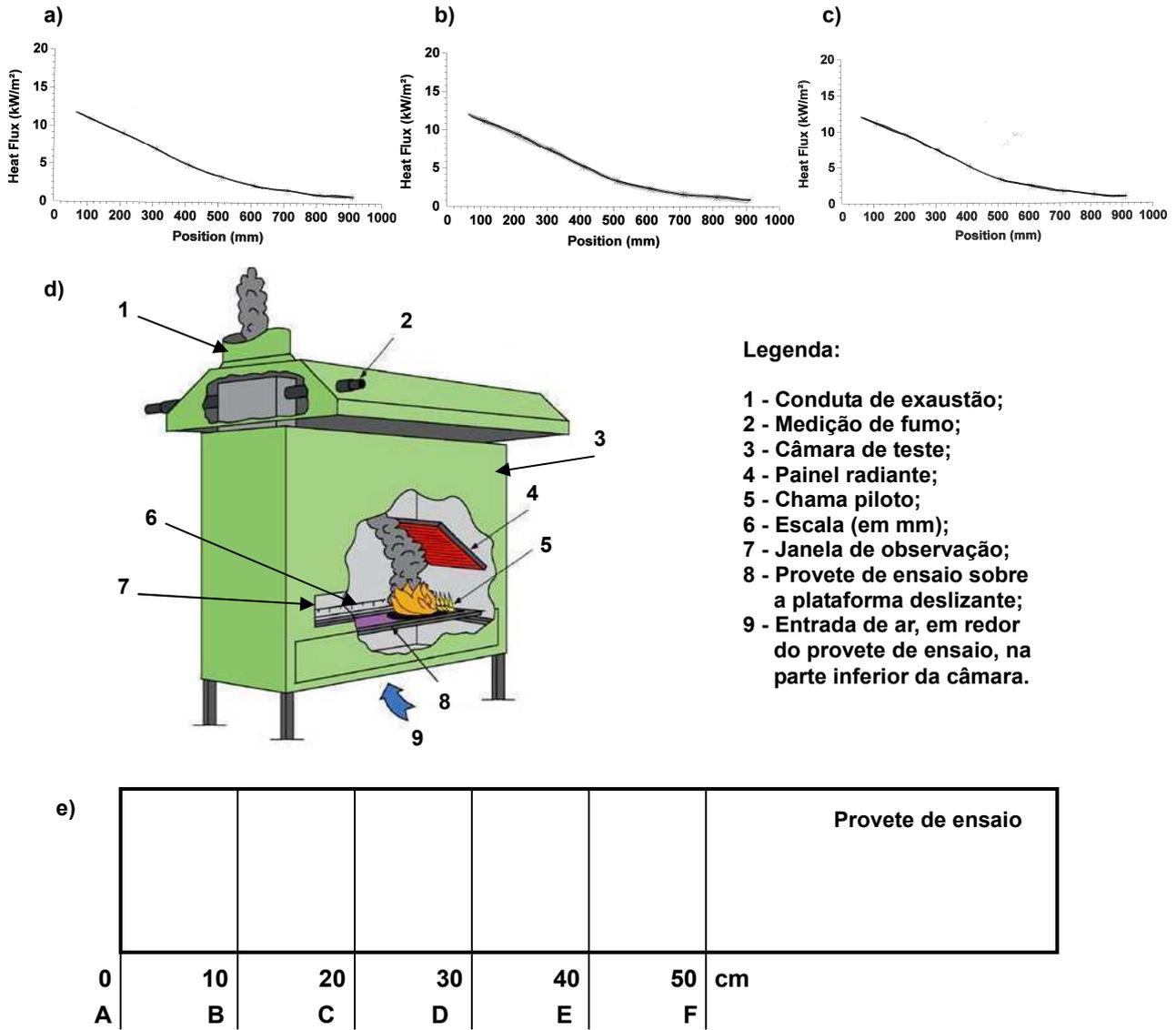


Figura IV. 5 Ensaio do painel radiante: curva de fluxo térmico (em língua inglesa, *heat flux*) em função da distância (em língua inglesa, *position*) em cada dia de ensaios: a) 25 de Maio, b) 14 de Junho, c) 2 de Agosto de 2011; d) Vista em perspectiva mostrando os princípios de teste do painel radiante - adaptado de (Östman & Mikkola, 2006); e e) Vista em planta mostrando os cortes (A a F) no provete de ensaio do painel radiante

Concluídos os ensaios do painel radiante, procedeu-se ao corte dos provetes, em troços de 10 cm de comprimento (Figura IV. 5e), com o objectivo de medir a secção transversal residual, e desta forma ter uma ordem de grandeza da secção carbonizada ao longo de cada provete, complementando a análise dos resultados obtidos pelo ensaio do painel radiante.

Tendo em consideração que a extremidade que encostava no “ponto zero”, aquando do ensaio do painel radiante, ficava debaixo da chama piloto, esta não foi devidamente sujeita à acção da mesma e da radiação proveniente do painel, resultando deste facto a opção de desprezar a referida zona, uma vez que não é representativa das acções a que o restante provete de ensaio esteve sujeito.

Após o corte dos provetes, identificou-se cada secção (A a F), sendo que foram adoptadas para as secções B a E as médias das respectivas áreas residuais, à esquerda e à direita, do corte efectuado (Figura IV. 5e). Refere-se que o instrumento de corte usado tem uma espessura de 3 mm, pelo que a diferença de informação recolhida nas secções à esquerda e à direita, era pequena. Para determinar a área da secção residual dos vários troços obtidos, recorreu-se ao programa informático *Image Tool* (Compdent.uthscsa.edu/dig/itdesc.html).

IV.7.2. Apresentação de resultados

Findos os 30 min de ensaio, obtém-se um relatório com os resultados do teste. Os parâmetros que são discriminados no relatório são: a propagação da chama aos 600 s, 1200 s e 1800 s, bem como a extensão máxima – parâmetros registados pelo operador durante o ensaio com auxílio da escala no interior da câmara de teste (Figura IV. 5); o momento de inflamação do provete de ensaio, assim como o seu momento de extinção. Paralelamente são registados o fluxo de calor incidente na frente de inflamação, aos 10 min (HF-10), 20 min (HF-20), e 30 min (HF-30), bem como o correspondente CHF. O Quadro IV. 13 apresenta os referidos parâmetros obtidos no ensaio do painel radiante. Salienta-se que os parâmetros “propagação da chama” e “fluxo de calor incidente na frente de inflamação” variam inversamente, conforme é evidente na Figura IV. 5.

A EN ISO 9239-1 (2010) define que, para os provetes em que a chama se extingue, por intervenção do operador, findo o período de 30 min, não se regista um valor de CHF, mas apenas o valor correspondente ao HF-30. Note-se, contudo, que prevalece sempre o menor valor entre o CHF e HF-30.

No relatório de ensaio vêm ainda discriminados os parâmetros referentes à produção de fumo durante o ensaio, nomeadamente o máximo de atenuação luminosa, bem como o tempo decorrido desde o início do ensaio até ocorrer o referido pico e o integral da curva de atenuação luminosa em função do tempo (produção total de fumo) de ensaio (Quadro IV. 14).

A avaliação da produção de fumo durante o ensaio é conseguida através do sistema de exaustão, que se encontra no topo da câmara de teste – visível na Figura IV. 5, juntamente com um sistema óptico incorporado, que permite efectuar a medição da atenuação luminosa, em relação à transmissão de luz – parâmetros inversamente proporcionais.

Menciona-se que a norma EN ISO 9239-1 (2010) refere que os parâmetros que permitem quantificar a produção de fumo são medidos continuamente ou durante intervalos não superiores a 10 s. No entanto, o programa informático faz registos contínuos, apresentando médias de 30 s da atenuação luminosa e da transmissão de luz, para cada provete submetido a ensaio.

Quadro IV. 13 Parâmetros de reacção ao fogo avaliados no ensaio do painel radiante

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de ignição (s) ⁽¹⁾	Tempo de extinção da chama (s)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção		
P0	SLP0'	480	0	0	490	3,83	0,00	0,00	3,66	123	881
	SLP0"	460	0	0	530	4,16	0,00	0,00	3,10	125	1071
	SIP0	490	420	220	500	3,66	4,94	9,25	3,50	123	1800
	STP0	440	440	260	560	4,39	8,01	8,01	2,75	126	1800
	CLP0'	490	280	290	540	3,60	7,60	7,40	2,97	124	1800
	CLP0"	420	40	0	510	4,94	≥10,90	0,00	3,33	122	1281
	CIP0	510	0	0	610	3,30	0,00	0,00	2,31	123	1058
	COP0	390	700	420	710	5,31	1,68	4,74	1,61	122	1800
P1	SLP1	100	0	0	140	≥10,90	0,00	0,00	10,72	123	863
	CIP1	200	0	0	210	9,65	0,00	0,00	9,46	123	764
	COP1	240	230	0	320	8,82	9,03	0,00	7,16	123	1498
P2	SLP2	310	0	0	350	7,39	0,00	0,00	6,46	122	912
	CIP2	310	0	0	340	7,39	0,00	0,00	6,69	123	1079
	COP2	340	420	220	450	6,69	4,94	9,25	4,36	122	1800
P3	SLP3	120	0	0	150	≥10,90	0,00	0,00	10,56	123	754
	CIP3	50	0	0	200	≥10,90	0,00	0,00	9,65	128	780
	COP3	60	0	0	180	≥10,90	≥10,90	≥10,90	10,02	123	769
P4	SLP4	40	0	0	40	≥10,90	0,00	0,00	≥10,90	125	738
	CIP4	220	200	530	530	9,25	9,65	3,10	3,10	123	1800
	COP4	350	420	230	440	6,46	4,94	9,03	4,55	124	1800
P5	SLP5	60	0	0	180	≥10,90	0,00	0,00	10,02	47 ⁽²⁾	763
	CIP5	80	0	0	110	≥10,90	0,00	0,00	≥10,90	123	759
	COP5	70	0	0	80	≥10,90	0,00	0,00	≥10,90	125	747

⁽¹⁾ Com a colocação da chama piloto na "posição zero".

⁽²⁾ Erro do programa informático.

No Quadro IV. 15 apresentam-se os valores das secções originais dos provetes de ensaio, resultantes das medições previamente efectuadas e incluídas no Anexo A, Quadro A. 9, e das secções residuais médias (complementado no Anexo B, Quadro B. 2).

Refere-se que os provetes de ensaio do sistema de protecção P1 carbonizaram completamente. Como procedimento usual no LERF, concluído o ensaio do painel radiante, os provetes são colocados no exterior do edifício e é vertida água nas zonas carbonizadas, de forma a cessar o processo de combustão. Contudo, dada a localização do LERF - zona elevada, associada ao facto de no dia dos respectivos ensaios se ter registado vento com alguma intensidade, estes factores impediram a suspensão da combustão dos referidos provetes, que carbonizaram na totalidade.

De forma complementar, procedeu-se à criação de uma extensa base de registos fotográficos - antes, durante e após os ensaios, de forma a auxiliar a análise dos resultados obtidos pelo ensaio do painel radiante. No Anexo B, são incluídos os registos fotográficos dos provetes, após o ensaio.

Quadro IV. 14 Parâmetros de avaliação do fumo no ensaio do painel radiante

Sistema de pintura	Provete	Atenuação luminosa		Produção total de fumo (%.min)
		Máximo (%)	Tempo (s)	
P0	SLP0'	9,31	241	57,93
	SLP0''	3,21	1298	23,77
	SIP0	9,75	162	64,14
	STP0	2,72	1119	29,81
	CLP0'	7,09	1337	42,26
	CLP0''	3,86	202	27,09
	CIP0	6,51	217	17,89
	COP0	14,14	131	37,15
P1	SLP1	4,01	149	25,46
	CIP1	4,64	129	44,19
	COP1	14,48	478	30,47
P2	SLP2	17,67	173	52,48
	CIP2	22,06	172	65,86
	COP2	26,89	180	73,24
P3	SLP3	37,87	169	68,82
	CIP3	44,99	183	77,29
	COP3	46,7	175	84,02
P4	SLP4	4,01	1026	12,47
	CIP4	44,34	167	228,2
	COP4	23,79	240	55,2
P5	SLP5	17,95	147	26,21
	CIP5	11,19	139	48,12
	COP5	9,5	135	34,01

Quadro IV. 15 Secções dos provetes da campanha, antes e após o ensaio do painel radiante

Provete	Secção original (cm ²)	Secção residual (cm ²)					
		A (0 cm)	B (10 cm)	C (20 cm)	D (30 cm)	E (40 cm)	F (50 cm)
SLP0'	45,8	2,4	2,9	22,9	32,7	38,6	40,2
SLP0''	46,2	2,5	4,5	22,6	35,4	39,3	41,8
SIP0	53,3	2,0	8,5	31,9	42,9	49,4	52,0
STP0	55,6	0,0	1,4	4,6	14,9	34,4	53,6
CLP0'	47,5	3,2	5,4	13,7	36,5	42,0	45,9
CLP0''	52,5	9,1	10,0	11,8	28,3	46,6	51,2
CIP0	53,7	14,4	16,8	30,3	45,9	44,9	51,1
COP0	54,4	2,0	8,5	12,3	25,4	40,4	54,0
SLP2	51,8	25,8	27,6	35,5	45,8	51,7	49,9
CIP2	51,4	22,3	23,7	34,8	45,3	52,2	55,2
COP2	48,7	8,7	11,0	24,2	36,4	45,1	48,5
SLP3	54,1	41,5	35,3	45,6	51,1	52,1	52,8
CIP3	54,1	30,7	35,8	40,7	47,8	50,0	54,6
COP3	55,6	27,4	32,7	40,8	45,4	55,6	55,6
SLP4	54,1	35,3	38,3	43,7	48,6	48,1	54,1
CIP4	52,9	32,1	32,5	34,9	44,2	49,4	52,9
COP4	51,8	7,1	15,4	30,1	43,5	45,4	51,5
SLP5	52,5	47,9	47,5	49,4	52,4	51,4	52,5
CIP5	54,8	43,8	45,8	46,6	47,7	53,0	54,8
COP5	55,2	45,9	45,3	48,6	51,9	55,2	55,2

IV.7.3. Análise de resultados

A presente análise de resultados incide sobre os parâmetros determinados através do ensaio do painel radiante, comparando os diferentes cenários considerados e os diversos sistemas aplicados.

Conforme já anteriormente referido, o equipamento do painel radiante foi verificado no início de cada jornada de ensaios. Tendo em conta que foram respeitadas as indicações, bem como os limites definidos na norma EN ISO 9239-1 (2010), considera-se que as condições de ensaio foram semelhantes, não havendo quaisquer aspectos dos ensaios individuais com influência nos resultados obtidos.

Os valores de humidade relativa apresentados no Quadro IV. 12 vêm confirmar a razão pela qual se optou pela não estabilização da massa dos provetes no intervalo de valores definido na norma EN 13238 (2010). As diferenças entre os limites (23 °C, 50 % de HR) e a gama de valores registados na sala de ensaios ao longo da campanha (Quadro IV. 12), inclusive durante a aplicação dos sistemas (Quadro IV. 6), são significativas. A estabilização da massa dos provetes neste ambiente poderia originar uma alteração significativa do seu teor em água, com consequências ao nível da integridade das películas de filme e da própria madeira que, eventualmente, condicionariam o seu desempenho face ao fogo.

De acordo com os desígnios do trabalho experimental, começou-se por analisar e estabelecer possíveis relações entre os provetes de referência, não protegidos ao fogo, com os correspondentes provetes que receberam sistemas de protecção ao fogo, nos diferentes cenários considerados. Complementarmente é feita a análise relativa à eficácia das protecções intumescentes e não intumescentes.

Salienta-se que a presente análise é indicativa, dado o reduzido número de réplicas, uma vez que se optou por abranger um maior número de variáveis a investigar, em detrimento da representatividade dos resultados obtidos na presente campanha.

Complementa-se que as conclusões retiradas da análise de resultados referem-se às condições de ensaio e aos materiais estudados. Deste modo, as conclusões obtidas devem ser encaradas com a reserva inerente ao número de ensaios realizados, e aos objectivos do trabalho, não devendo ser extrapoladas.

IV.7.3.1. Provetes sem protecção ao fogo

A. Madeira nova e sã - efeito do insecticida

Analisando os testemunhos (P0) relativos à situação de madeira nova e sã, observa-se no Quadro IV. 16 um comportamento distinto no provete com insecticida (SIP0), que regista chama até findo o período de ensaio, ao passo que nos provetes SLP0, a extinção da chama ocorre antes dos 1200 s de ensaio.

No provete SIP0 regista-se um aumento significativo do fluxo de energia térmica incidente na frente de inflamação, dos 600 s para os 1200 s e depois para os 1800 s, correspondendo à extinção da chama para menores fluxos de calor incidente (Quadro IV. 16). Tendo em conta que, nos provetes SLP0, o fluxo de calor incidente na frente de inflamação aos 600 s é superior ao fluxo de calor crítico na extinção registado, ocorreu igualmente a extinção da chama para menores fluxos de calor incidente.

Quadro IV. 16 Pannel radiante – madeira nova e sã sem protecção ao fogo

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m ³)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
		SLP0' e SLP0'' – sem tratamento preservador SIP0 – com tratamento preservador (insecticida)										
P0	SLP0'	480	0	0	490	3,83	0,00	0,00	3,66	881	57,93	456,8
	SLP0''	460	0	0	530	4,16	0,00	0,00	3,10	1071	23,77	444,6
	SIP0	490	420	220	500	3,66	4,94	9,25	3,50	1800	64,14	470,3

É portanto perceptível, conforme observado no decorrer dos ensaios, que, após a carbonização superficial do substrato, que isola a camada subsequente (não carbonizada), a chama acaba por extinguir-se, restringindo-se à zona adjacente à chama piloto e à frente de inflamação – visível na Figura IV. 6. Ainda assim, nos nós existentes na madeira, verificou-se a exsudação de resinas com o aumento da temperatura, ocorrendo portanto, um aumento pontual de combustível, e consequentemente a persistência da chama, por vezes de forma isolada. Exemplo desse aspecto é o provete SLP0' (Figura IV. 6), que apresentava nós de tamanho considerável, junto do “ponto zero” (Figura A. 1, Anexo A).

Apesar da chama permanecer durante todo o período de ensaio no SIP0, é o SLP0'' que regista a maior extensão alcançada pela chama, associada ao menor fluxo de calor crítico na extinção da chama (3,10 kW/m²). O SLP0' registou o maior valor de fluxo de calor crítico na extinção (3,66 kW/m²), e consequentemente a menor propagação máxima da chama.



Figura IV. 6 Combustão no provete SLP0', no decorrer do ensaio do painel radiante

Embora a extensão máxima da chama seja semelhante nos três provetes, é interessante notar que o tempo de persistência da chama é muito superior no provete com insecticida.

Complementa-se as observações efectuadas com a análise da Figura IV. 7b, onde se constata que as secções residuais normalizadas (em % da secção inicial) dos provetes são ligeiramente menores nos SLP0, do que no SIP0, embora neste último a chama permaneceu activa por mais 919 s e 729 s do que nos SLP0' e SLP0'', respectivamente. No entanto, observa-se que a massa volúmica do SIP0 era superior em 2 % e 5 % à do SLP0' e do SLP0'', respectivamente. Como seria expectável, as menores secções residuais, isto é, onde ocorre uma maior perda de secção por carbonização do substrato, verificam-se próximo da chama piloto e do painel radiante, observando-se um aumento progressivo das secções residuais com o afastamento das fontes de calor.

Relativamente à produção de fumo (Quadro IV. 16), a maior produção ocorre na presença do insecticida, superior em 10 % e 60%, face aos provetes SLP0' e SLP0'', respectivamente, registando o máximo de atenuação luminosa 79 s e 1136 s mais cedo do que nos SLP0' e SLP0'', respectivamente (Figura IV. 7a). Evidencia-se as diferenças de produção de fumo, na ordem de 60 %, entre os provetes SLP0, realçando-se a variabilidade inerente e não controlada, associada ao substrato usado na campanha.

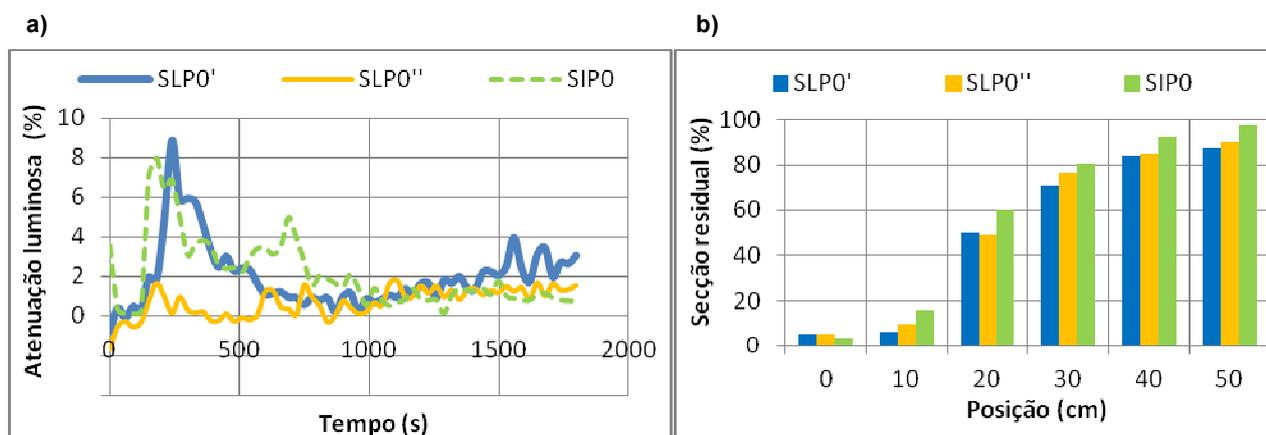


Figura IV. 7 Comportamento dos testemunhos de madeira nova e sã: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Conclusão: a presença do insecticida em madeira nova e sã provocou o aumento da produção de fumo e do tempo de persistência da chama.

Menciona-se, a título informativo, que os resultados dos provetes SLP0 caem na classe D_{fi-s1} , o que corresponde à classificação das placas de madeira maciça que incorporam as listas de produtos de construção de “Classificação sem necessidade de ensaio” (Coelho, 2010) para madeira maciça com massa volúmica superior a 400 kg/m^3 (Quadro IV. 16) e uma espessura superior a 12 mm, o que contribui para validar os resultados obtidos.

B. Efeito do substrato

Os provetes com ataque por caruncho e limpa (CLP0' e CLP0''), registam os valores máximos de propagação da chama próximo dos 600 s de ensaio, conforme também observado nos SLP0' e SLP0'' (Quadro IV. 17), contudo, o aumento de fluxo, dos 600 s para os 1200 s, após o alcance da extensão máxima, é menos significativo no provete CLP0', evidenciando a sua proveniência. Tendo em conta que a carbonização superficial nos provetes SLP0', SLP0'' e CLP0'', e conseqüentemente o isolamento das camadas subsequentes, implica a extinção da chama antes dos 1800 s de ensaio, admite-se que a presença do produto oleoso na contra face do provete (CLP0'), a 2 cm de profundidade da superfície ensaiada, pode ser um factor responsável por alterar a reacção ao fogo, dada a persistência da chama até aos 1800 s. Observa-se ser suficiente um menor fluxo de energia radiante incidente na frente de inflamação, para manter a chama activa por um maior período de tempo, evidenciando o papel que o produto oleoso desempenha no processo de combustão mesmo aplicado na contraface, funcionando como combustível.

Quadro IV. 17 Pannel radiante – testemunhos sem protecção ao fogo

**SLP0' e SLP0'' – madeira nova e sã
CLP0' e CLP0'' – madeira antiga com ataque por caruncho
após remoção do produto oleoso superficial**

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m^2)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m^3)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
P0	SLP0'	480	0	0	490	3,83	0,00	0,00	3,66	881	57,93	456,8
	SLP0''	460	0	0	530	4,16	0,00	0,00	3,10	1071	23,77	444,6
	CLP0'	490	280	290	540	3,60	7,60	7,40	2,97	1800	42,26	478,5
	CLP0''	420	40	0	510	4,94	$\geq 10,90$	0,00	3,33	1281	27,09	433,2

Aos 1200 s ainda se registava chama no CLP0'', algo não observado nos provetes de SLP0' e SLP0'' (Quadro IV. 17), sugerindo que o aumento da superfície específica, em resultado dos danos provocados pela anterior presença de caruncho, pode ser responsável por algumas alterações no desempenho de reacção ao fogo.

Relativamente à produção de fumo, o SLP0' detém o maior valor (Quadro IV. 17), possivelmente justificável pela presença dos nós anteriormente mencionados. Para os restantes provetes em análise, o CLP0' apresenta um valor superior de produção de fumo, possivelmente devido à presença do produto oleoso na contraface de ensaio. Observa-se uma diferença de cerca de 36 % na produção de fumo entre os dois provetes CLP0' e CLP0'', e de 60 % entre os dois provetes SLP0' e SLP0'', comprovando portanto, a variabilidade do substrato.

A observação da Figura IV. 8a denota uma redução dos picos iniciais de atenuação luminosa entre, sensivelmente, os 500 s e os 1000 s, voltando a aumentar posteriormente, possivelmente, associado à carbonização e consequente protecção da camada superficial do substrato.

Apesar da massa volúmica do CLP0' ser superior em cerca de 9,5 % à do CLP0'', as secções residuais normalizadas, nas posições 0 e 10 cm, são maiores no CLP0'' (Figura IV. 8b), podendo ser justificado pela proveniência do provete CLP0', conforme já notado, associado à persistência da chama até aos 1800 s de ensaio. No entanto, nas posições 20 e 30 cm, nota-se uma inversão com o CLP0' a apresentar maiores secções residuais normalizadas, voltando a inverter nas restantes posições analisadas.

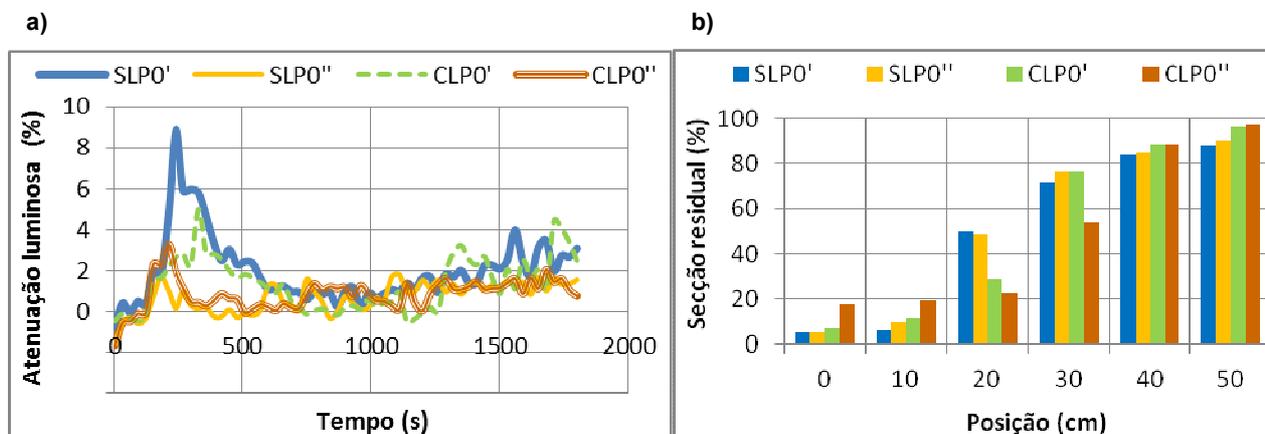


Figura IV. 8 Comportamento dos testemunhos SLP0', SLP0'', CLP0' e CLP0'': a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Nos provetes de madeira nova e sã destaca-se as posições de 10 cm e de 20 cm, onde se nota um aumento acentuado das secções residuais normalizadas (Figura IV. 8b). Na posição 20 cm, destaca-se a diferença comparativamente com os provetes de madeira antiga, quando na posição 40 cm, não se nota uma diferença significativa. Refere-se que os provetes SLP0 apresentam massas volúmicas dentro do intervalo dos provetes CLP0, tendo registado menores tempos de persistência da chama, conforme já notado. Portanto, é notório que as maiores perdas de secção ocorrem próximo

da chama piloto, conforme já observado, mas estas perdas prolongam-se por uma maior extensão nos provetes de madeira antiga, que nos provetes de madeira nova, evidenciando o maior grau de combustibilidade associado ao produto oleoso, assim como, possivelmente, uma maior permeabilidade em resultado da anterior presença de caruncho.

Conclusão: o aumento do tempo de persistência da chama na madeira antiga, bem como a perda de secção registada, para posições relativamente distantes da chama piloto, comparativamente com a madeira nova e sã (limpa), podem ser justificados pelo possível aumento de superfície específica, bem como pela presença do produto oleoso, nomeadamente no provete CLP0'.

Complementa-se que Östman & Mikkola (2010) concluíram que o substrato é um dos parâmetros, particularmente no caso das placas de derivados de madeira, que mais influencia as características de reacção ao fogo, seja a ignitabilidade (EN ISO 11925-2, 2010), o painel radiante (EN ISO 9239-1, 2010), ou o SBI (EN 13823, 2010).

C. Madeira antiga com ataque por caruncho após remoção do produto oleoso superficial - efeito do insecticida

A aplicação do insecticida usado na campanha, em madeira antiga com ataque por caruncho (CIP0) parece provocar um aumento da propagação máxima da chama em 11,5 % e 16,4 %, face ao CLP0' e CLP0'', respectivamente, e conseqüentemente, regista um menor fluxo de calor crítico na extinção, na frente de inflamação (Quadro IV. 18). Salienta-se a extensão máxima registada no provete CIP0, que à semelhança dos provetes até aqui analisados, também é atingida próximo dos 600 s de ensaio (consistindo no maior valor registado em todo o ensaio). Contudo, este provete regista o menor tempo de persistência da chama.

Quadro IV. 18 Painel radiante – madeira antiga sem protecção ao fogo + remoção do produto oleoso superficial

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m ³)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
P0	CLP0'	490	280	290	540	3,60	7,60	7,40	2,97	1800	42,26	478,5
	CLP0''	420	40	0	510	4,94	≥10,90	0,00	3,33	1281	27,09	433,2
	CIP0	510	0	0	610	3,30	0,00	0,00	2,31	1058	17,89	480,2

Já a produção de fumo no CIP0, é menor 57 % e 34 % do que nos CLP0' e CLP0'', respectivamente (Quadro IV. 18). Acrescenta-se que, conforme observado anteriormente, após o registo inicial dos picos de atenuação luminosa, observa-se um decréscimo, voltando posteriormente a aumentar (Figura IV. 9a).

Complementa-se que, por observação da Figura IV. 9b, se verifica que as secções residuais normalizadas do provete com insecticida CIP0 são superiores às dos CLP0' e CLP0''. Possivelmente, é justificado pelo maior tempo de persistência da chama nos provetes CLP0' e CLP0'', uma vez que as diferenças de massa volúmica (0,4 % e 9,8 %, respectivamente, face ao CIP0), não parecem ser significativas.

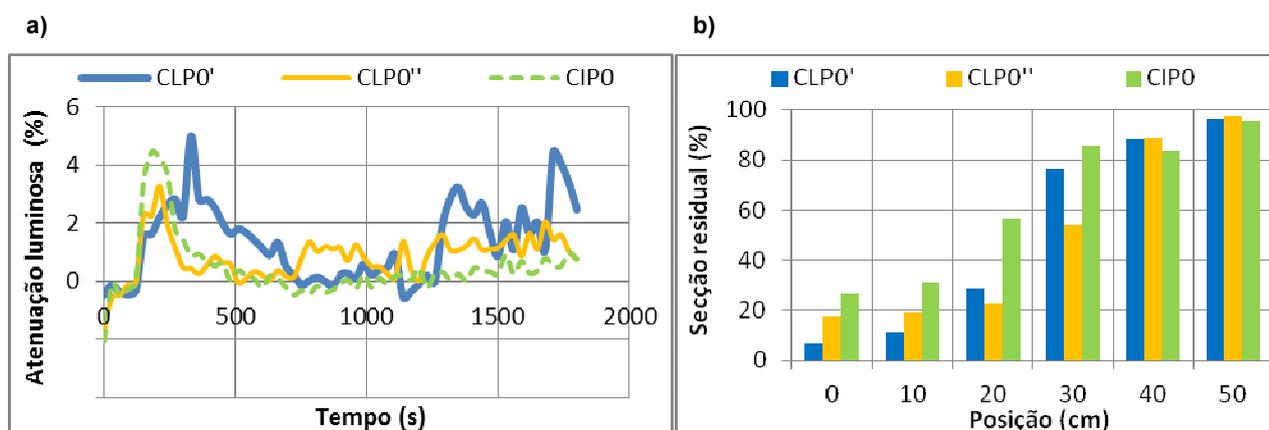


Figura IV. 9 Comportamento dos testemunhos de madeira antiga após remoção do produto oleoso superficial: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Conclusão: observa-se que a aplicação do insecticida nos provetes de madeira antiga danificada por caruncho provoca o aumento da propagação da chama, a diminuição do tempo de persistência da chama e da produção de fumo, bem como a redução da perda de secção por carbonização, face aos resultados obtidos.

D. Efeito do insecticida em diferentes substratos

Quando se aplica o insecticida à madeira antiga com ataque por caruncho CIP0, verifica-se uma redução em 742 s do tempo de persistência da chama, relativamente à madeira limpa (SIP0), que registou chama até findo o período de ensaio. A madeira carunchosa com insecticida apresentou ainda uma redução de 34 % no fluxo de calor crítico na extinção, na frente de inflamação, associado a 18 % de aumento da propagação da chama e uma redução de 72 % na produção de fumo (Quadro IV. 19). Acrescenta-se que a atenuação luminosa no SIP0 é expressivamente superior (Figura IV. 10a) e conseqüentemente a produção de fumo, conforme já referido.

Quadro IV. 19 Painel radiante – testemunhos sem protecção ao fogo + tratamento com insecticida

SIP0 – madeira nova e sã
CIP0 – madeira antiga com ataque por caruncho
após remoção do produto oleoso superficial

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m ³)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
P0	SIP0	490	420	220	500	3,66	4,94	9,25	3,50	1800	64,14	470,3
	CIP0	510	0	0	610	3,30	0,00	0,00	2,31	1058	17,89	480,2

A Figura IV. 10b mostra que as secções residuais normalizadas são menores no provete SIP0, para as posições 0 cm e 10 cm, face às do provete CIP0 relacionando-se, possivelmente, com o maior tempo de persistência da chama no provete SIP0. Nota-se que a partir da posição 20 cm, com o afastamento do “ponto zero”, as diferenças das secções residuais tornam-se menores.

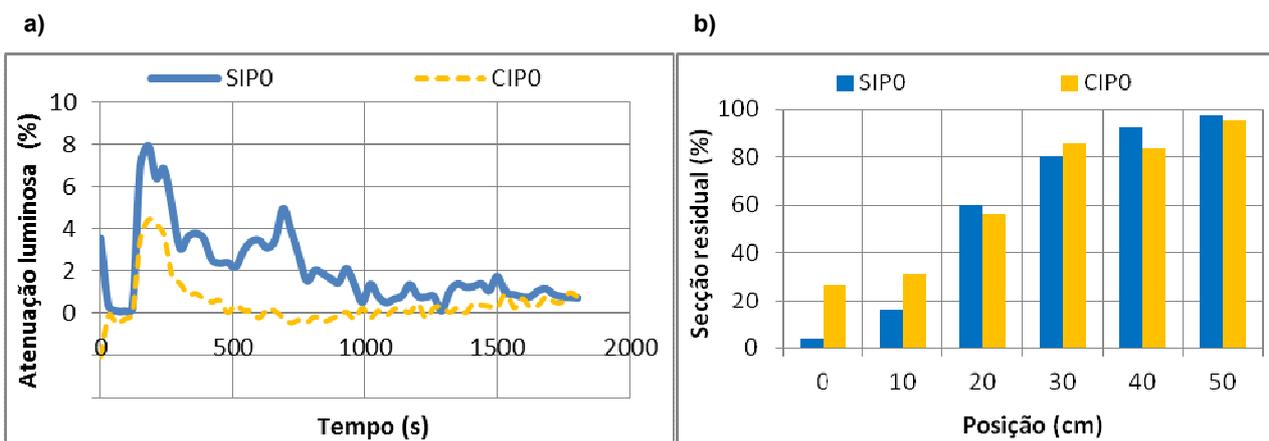


Figura IV. 10 Comportamento dos testemunhos com produto insecticida: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Conclusão: o insecticida em madeira antiga reduz o tempo de persistência da chama, embora a extensão alcançada pela chama aumente, com a redução da produção de fumo e das perdas de secção por carbonização, próximo da chama piloto, face ao provete de madeira nova e sã com insecticida.

Perante as observações efectuadas, com vista ao despiste de possíveis agentes causadores das alterações de reacção ao fogo observadas, procedeu-se à observação dos registos fotográficos e constatou-se apenas que a porção de borne azulado no SIP0 é significativamente superior à do provete CIP0 (Figuras A. 1 e 2, Anexo A).

E. Madeira antiga com ataque por caruncho – efeito do produto preservador

Os provetes de referência de madeira antiga com ataque por caruncho demonstram uma extensão máxima com o *rating* CLP0 < CIP0 < COP0 (Quadro IV. 20). À medida que a chama se vai afastando do “ponto zero”, a energia incidente na frente de inflamação vai diminuindo, pelo que associada à maior propagação da chama alcançada no conjunto de provetes de ensaio, está o menor valor de fluxo de calor crítico na extinção, verificado no provete COP0. Neste provete verifica-se ainda a persistência da chama até aos 1800 s de ensaio, observando-se na Figura IV. 11b que, regista as maiores perdas de secção por carbonização, mesmo com o afastamento da chama piloto. Confirma-se portanto, o elevado grau de combustibilidade associado ao produto oleoso contido nos provetes de ensaio, alterando expressivamente os parâmetros de reacção ao fogo do substrato, conforme referido.

Quadro IV. 20 Painel radiante – madeira antiga sem protecção ao fogo

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m ³)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
		COP0 – com produto oleoso na superfície CLP0' e CLP0'' – após remoção do produto oleoso superficial CIP0 – após remoção do produto oleoso superficial e tratamento com insecticida										
P0	COP0	390	700	420	710	5,31	1,68	4,74	1,61	1800	37,15	472,2
	CLP0'	490	280	290	540	3,60	7,60	7,40	2,97	1800	42,26	478,5
	CLP0''	420	40	0	510	4,94	≥10,90	0,00	3,33	1281	27,09	433,2
	CIP0	510	0	0	610	3,30	0,00	0,00	2,31	1058	17,89	480,2

Destacam-se as semelhanças entre os provetes CLP0' e COP0, comparativamente com os restantes testemunhos de madeira antiga, pela extinção da chama aos 1800 s, bem como pelos valores de fluxo de calor incidente registados no decorrer do ensaio (Quadro IV. 20). Naturalmente que o COP0 regista menores valores de fluxo de calor incidente na frente de inflamação, fruto da maior quantidade de produto oleoso na face submetida a ensaio. As semelhanças de comportamento são devidas à proveniência do mesmo lote, conforme já mencionado no subcapítulo IV. 4, e as diferenças, justificadas pela face submetida a ensaio – distintas quantidades de óleos queimados e diferente processo de preparação da superfície.

Relativamente à produção de fumo, o COP0 e o CLP0', registam as maiores produções, diferindo apenas em 12 % a menos para o COP0 (Quadro IV. 20). No entanto, é o COP0 que regista o maior pico de atenuação luminosa, no menor intervalo de tempo (Figura IV. 11a).

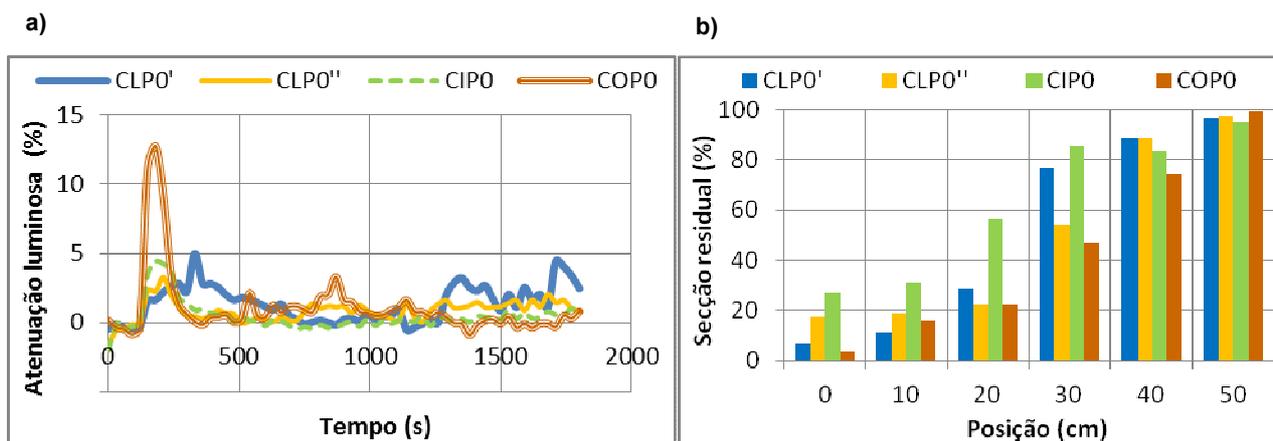


Figura IV. 11 Comportamento dos testemunhos de madeira antiga: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Conclusão: a presença do produto oleoso nos provetes ensaiados fomenta a persistência da chama, bem como a sua propagação e, maiores perdas de secção por carbonização, funcionando como combustível no processo de combustão. Também a produção de fumo sofre alterações significativas. Portanto, optar pela não remoção da camada superficial (COP0), agrava o desempenho em matéria de reacção ao fogo, comparado com a opção da sua remoção (CLP0''). Acrescenta-se que, a presença do produto oleoso de forma não visível (impregnado em profundidade, por exemplo) (CLP0'), parece evidenciar-se com a redução do desempenho de reacção ao fogo, embora menos expressivo, comparativamente com a situação da presença do produto oleoso na superfície (COP0).

Complementa-se ainda que a remoção do produto oleoso superficial e a aplicação posterior do insecticida usado na campanha (CIP0) conduz a um desempenho superior à não remoção (COP0), face aos resultados obtidos.

F. Madeira nova e sã – efeito de tratamento preservador

O provete de madeira tratada com o produto à base de azóis de cobre (STP0) registou uma propagação da chama 10 % superior ao provete de madeira tratada com insecticida (SIP0); são iguais os valores de fluxo de calor radiante incidente aos 1200 s e 1800 s de ensaio do STP0, ao passo que no SIP0, observa-se um aumento significativo entre os instantes referidos. Em ambos os casos ocorreu a extinção da chama para menores fluxos de calor incidente (Quadro IV. 21).

Embora a produção de fumo no SIP0 seja superior ao dobro da verificada no STP0 (Quadro IV. 21), com picos de atenuação luminosa superiores aos registados no STP0 (Figura IV. 12a), refira-se que em valor absoluto estas diferenças são pouco significativas.

Quadro IV. 21 Pannel radiante – madeira nova e sã sem protecção ao fogo + tratamento preservador

SIP0 – em solvente orgânico aplicado por pincelagem (insecticida)

STP0 – em profundidade com produto à base de azóis de cobre

Sistema de pintura	Proвете	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m ³)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
P0	SIP0	490	420	220	500	3,66	4,94	9,25	3,50	1800	64,14	470,3
	STP0	440	440	260	560	4,39	8,01	8,01	2,75	1800	29,81	609,6

Na Figura IV. 12b observa-se que as secções residuais normalizadas do provete STP0 são significativamente inferiores que as do SIP0, para uma massa volúmica aparente 23 % superior.

Menciona-se que, no decorrer da presente análise, verificou-se uma tendência da chama para avançar pela zona da junta. Este facto, dependendo da qualidade da ligação macho-fêmea, pode permitir facilmente o avanço da chama para o interior da junta, dada a maior libertação de gases combustíveis, resultantes da pirólise da madeira. Exemplo disso é o caso do provete STP0 – visível na Figura B. 1, Anexo B.

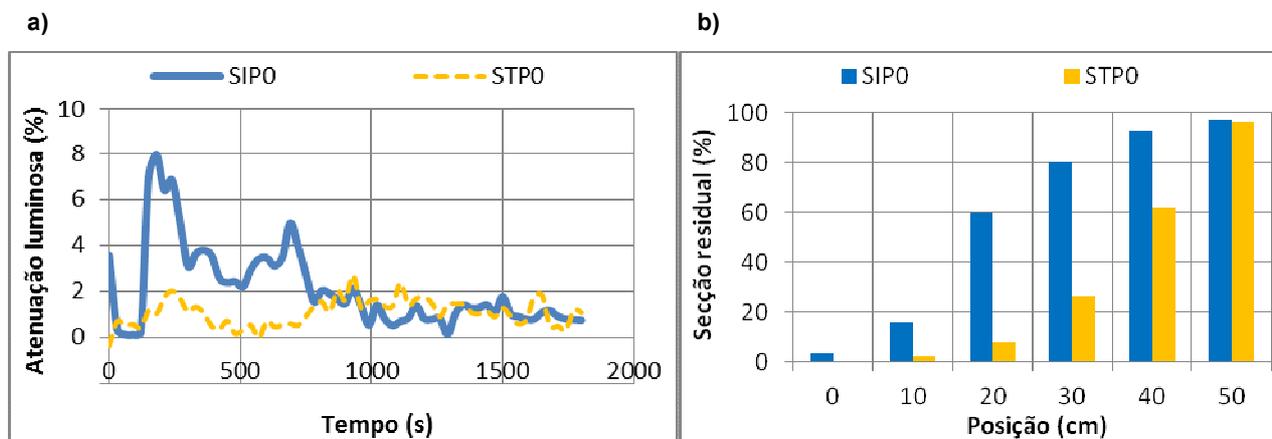


Figura IV. 12 Comportamento dos provetes de madeira nova e sã com tratamento preservador: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Conclusão: o provete com azóis de cobre mostrou um agravamento dos parâmetros de reacção ao fogo mas, em contrapartida, teve menor produção de fumo, comparativamente com a madeira com aplicação superficial de produto insecticida.

G. Apreciação geral da influência das condições do substrato ensaiadas na reacção ao fogo da madeira

O desempenho de reacção ao fogo nas situações de madeira nova e sã (limpa) e de madeira antiga com danos resultantes da anterior presença de caruncho, não é muito distinto, mas ainda assim, nota-se que o aumento de superfície específica pode justificar as diferenças observadas, nomeadamente com o aumento do tempo de persistência da chama e das perdas de secção por carbonização, para posições mais afastadas da chama piloto.

Na presença de tratamentos prévios (insecticida ou produto oleoso) o comportamento face à acção do fogo decresce, particularmente na presença do produto oleoso. Assim, nesta situação em particular, parece ser vantajoso optar pela sua remoção, mesmo com a posterior aplicação do insecticida. Notou-se ainda que, o desempenho de reacção ao fogo na presença do produto oleoso de forma não visível (impregnado em profundidade, por exemplo) é melhor comparativamente à situação do produto oleoso na superfície.

Também na presença de azóis de cobre em madeira nova e sã observou-se um agravamento no desempenho de reacção ao fogo, comparativamente à presença do insecticida, ainda que com uma menor produção de fumo.

IV.7.3.2. Provetes com protecção não intumescente ao fogo (P1 e P2)

A. Efeito da protecção ao fogo em madeira nova e sã

Os provetes de madeira nova e sã que receberam os sistemas de protecção com propriedades não intumescentes (SLP1 e SLP2) mostraram uma redução da propagação da chama (e o correspondente aumento do fluxo de calor incidente na extinção da chama, na frente de inflamação) (Quadro IV. 22). Foram também registadas perdas de secção significativamente menores no provete SLP2 (Figura IV. 13b), face aos correspondentes provetes não protegidos, nomeadamente na posição 0 cm e 10 cm (próximo da chama piloto). Frisa-se que as diferenças de massa volúmica aparente (entre os provetes SLP0 e SLP2) são menores que 7 %. Observa-se na Figura IV. 13a uma antecipação dos picos de atenuação luminosa nos provetes SLP1 e SLP2, relativamente aos provetes SLP0.

A redução da extensão máxima alcançada pela chama é mais significativa no sistema de protecção P1 (73 %) do que no sistema P2 (30 %), o que significa que a extinção da chama no provete SLP1 ocorreu com um fluxo de calor incidente na extinção da chama superior ao correspondente valor

registado no provete SLP2. Esta diferença embora pouco expressiva, ocorreu para um menor tempo de persistência da chama no SLP1. No SLP2 a chama permaneceu activa por mais 31 s que no SLP0' e extinguiu-se 159 s mais cedo que no SLP0'' (Quadro IV. 22).

A produção de fumo registada no SLP2 é o dobro da aferida no SLP1, para uma massa volúmica 12,5 % superior (Quadro IV. 22).

Quadro IV. 22 Painel radiante – madeira nova e sã + protecção não intumescente

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m ³)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
P0	SLP0'	480	0	0	490	3,83	0,00	0,00	3,66	881	57,93	456,8
	SLP0''	460	0	0	530	4,16	0,00	0,00	3,10	1071	23,77	444,6
P1	SLP1	100	0	0	140	≥10,90	0,00	0,00	10,72	863	25,46	540,5
P2	SLP2	310	0	0	350	7,39	0,00	0,00	6,46	912	52,48	473,1

SLP0' e SLP0'' – sem protecção ao fogo
 SLP1 – com protecção pelo sistema P1
 SLP2 – com protecção pelo sistema P2

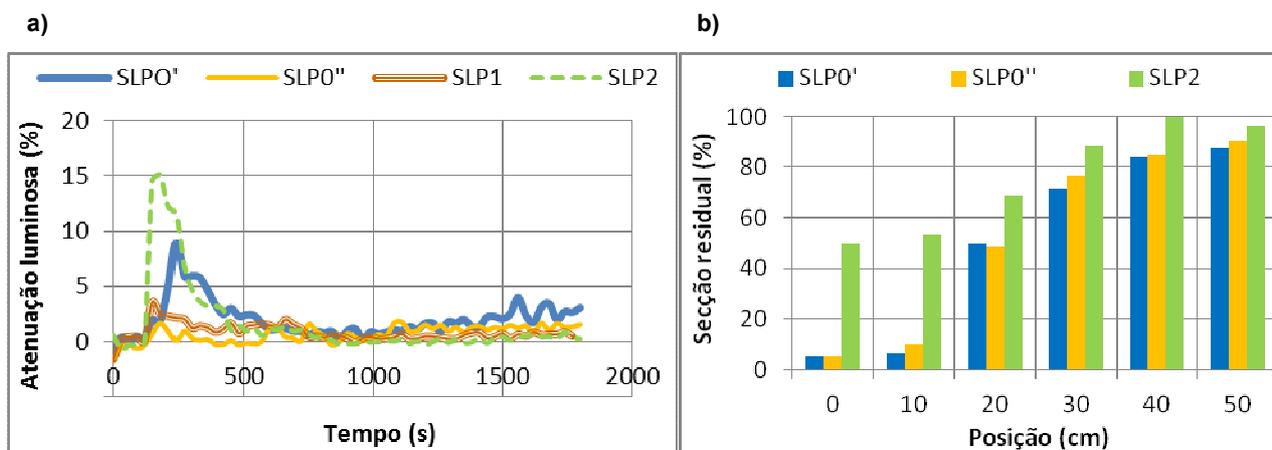


Figura IV. 13 Comportamento dos provetes SLPx com protecção não intumescente e respectivos testemunhos: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Conclusão: a aplicação dos sistemas de protecção P1 e P2 em madeira nova e sã melhora substancialmente as propriedades de reacção ao fogo, embora o sistema P1 apresente melhor desempenho que o P2.

B. Efeito da protecção ao fogo em madeira antiga com ataque por caruncho, após remoção do produto oleoso superficial e tratamento com insecticida

Também nos provetes de madeira antiga danificada por caruncho, que receberam tratamento com insecticida, se observou uma melhoria de desempenho sob a acção ao fogo quando protegidos com sistemas não intumescentes. Para além de se observar uma redução significativa da propagação da chama, de 66 % e 44 %, respectivamente para o sistema de protecção P1 e P2 e, conseqüentemente, um aumento dos valores de fluxo de calor crítico na extinção da chama, nota-se uma redução de 294 s no tempo de persistência da chama no provete CIP1 (Quadro IV. 23). No entanto, na produção de fumo, observa-se um aumento de 60 % e de 73 %, no CIP1 e no CIP2, respectivamente. Observa-se que os picos de atenuação luminosa ocorrem mais cedo nos provetes protegidos ao fogo (Figura IV. 14a). A Figura IV. 14b mostra que as secções residuais registadas no CIP2 são superiores às do CIP0.

Quadro IV. 23 Painel radiante – madeira antiga + tratamento com insecticida + protecção não intumescente

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m ³)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
P0	CIP0	510	0	0	610	3,30	0,00	0,00	2,31	1058	17,89	480,2
P1	CIP1	200	0	0	210	9,65	0,00	0,00	9,46	764	44,19	435,2
P2	CIP2	310	0	0	340	7,39	0,00	0,00	6,69	1079	65,86	485,2

CIP0 – sem protecção ao fogo
CIP1 – com protecção pelo sistema P1
CIP2 – com protecção pelo sistema P2

À semelhança do comportamento observado na madeira nova e sã, no CIP1 o fluxo de calor crítico na extinção foi superior ao do CIP2 e, conseqüentemente, registou uma menor propagação máxima da chama (Quadro IV. 23). Também a produção de fumo foi maior no CIP2, conforme também observado na madeira nova e sã.

O produto P1 apresentou melhores resultados quando aplicado em madeira nova e sã (SLP1), do que quando aplicado em madeira carunchosa com insecticida (CIP1). No entanto, a chama permaneceu activa no SLP1 por mais 99 s.

A chama manteve-se activa por mais 21 s no CIP2 do que no CIP0, à semelhança do comportamento observado entre o SLP2 e o SLP0' (Quadros IV. 22 e 23).

É curioso observar que a extensão da propagação da chama aos 600 s de ensaio é igual no SLP2 e no CIP2, e conseqüentemente o fluxo radiante correspondente também regista valores iguais (Quadros IV. 22 e 23).

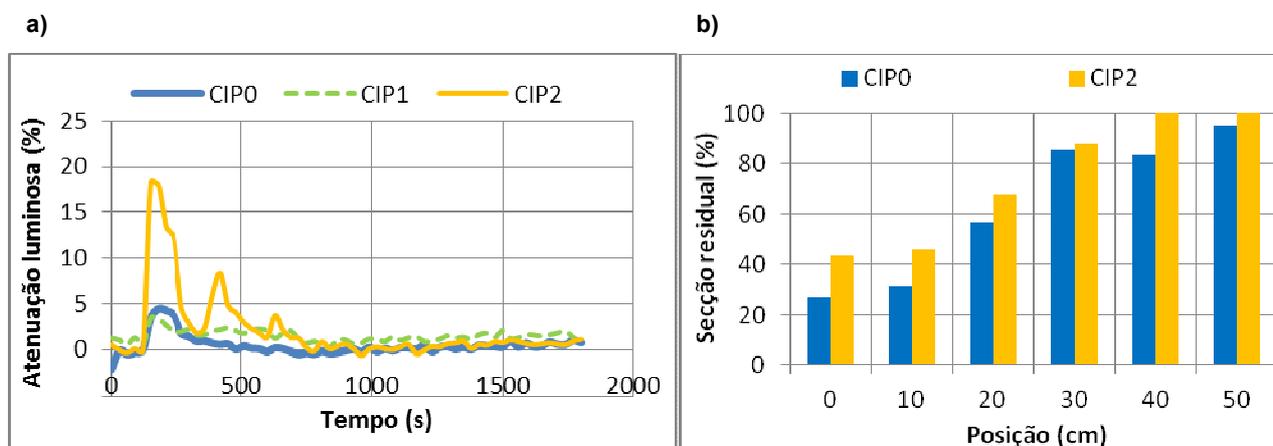


Figura IV. 14 Comportamento dos provetes CIPx com protecção não intumescente e respectivo testemunho: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Conclusão: conforme observado no cenário de madeira nova e sã, os sistemas P1 e P2 quando aplicados sobre o substrato em análise, também melhoram as propriedades de reacção ao fogo, embora a produção de fumo aumente; e também é o sistema de protecção P1 a apresentar melhores resultados que o sistema P2.

Tendencialmente observa-se que, o desempenho dos tratamentos P1 e P2, face à acção ao fogo, em madeira antiga com ataque por caruncho tratada com insecticida é inferior ao desempenho obtido para estes tratamentos quando aplicados em madeira nova e sã.

C. Efeito da protecção ao fogo em madeira antiga com ataque por caruncho e com produto oleoso na superfície

De acordo com a tendência observada nos anteriores cenários (condições do substrato) analisados, a aplicação de protecção não intumescente induz numa melhoria de desempenho de reacção ao fogo. Nos provetes COPx os comportamentos mantêm-se, ainda que com piores desempenhos face à acção do fogo, de acordo com as conclusões retiradas da análise dos provetes de referência, relativamente ao efeito combustível do produto oleoso contido nos provetes de ensaio. Com efeito, verifica-se a redução de 55 % e 37 % da propagação da chama nos provetes COP1 e COP2, respectivamente; o aumento do fluxo de calor crítico na extinção da chama; e a redução do tempo

de extinção da chama no COP1 em 302 s, ao passo que no COP2, a chama manteve-se activa até ao fim do período de ensaio, tal como no COP0 (Quadro IV. 24).

Nota-se também que, a propagação máxima da chama no provete COP2 foi atingida próximo dos 1200 s de ensaio (Quadro IV. 24), à semelhança do registado no provete COP0.

Quadro IV. 24 Painel radiante – madeira antiga + produto oleoso + protecção não intumescente

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m ³)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
		COP0 – sem protecção ao fogo COP1 – com protecção pelo sistema P1 COP2 – com protecção pelo sistema P2										
P0	COP0	390	700	420	710	5,31	1,68	4,74	1,61	1800	37,15	472,2
P1	COP1	240	230	0	320	8,82	9,03	0,00	7,16	1498	30,47	482,3
P2	COP2	340	420	220	450	6,69	4,94	9,25	4,36	1800	73,24	495,9

Conforme observado nos anteriores cenários analisados, a chama extinguiu-se no COP1 com um fluxo de calor crítico superior ao do COP2 e uma menor propagação máxima da chama (Quadro IV. 24). As secções residuais obtidas no COP2 são maiores do que no COP0, para uma massa volúmica superior em 5 % (Figura IV. 15b).

Contrariamente ao comportamento observado no cenário CIPx face à produção de fumo, verifica-se que o COP1 registou uma redução em 18 %, e o COP2, um aumento em 50 %, comparativamente com o COP0 (Quadro IV. 24). A ocorrência dos picos de atenuação luminosa também se altera, verificando-se que a aplicação dos sistemas de protecção não os antecipa, como até aqui observado, pelo contrário, registam-se mais tarde (Figura IV. 15a).

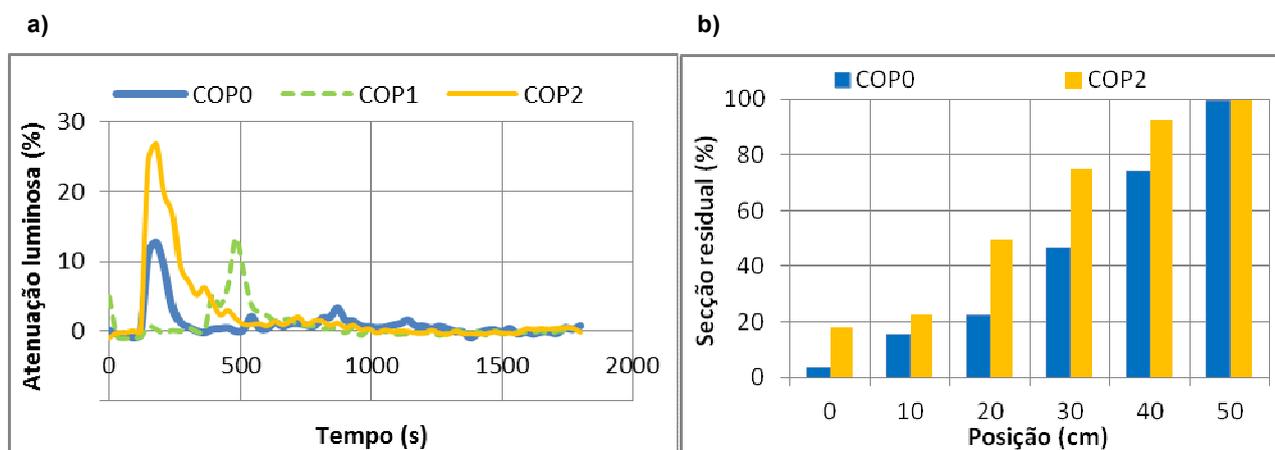


Figura IV. 15 Comportamento dos provetes COPx com protecção não intumescente e respectivo testemunho: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Conclusão: a aplicação da protecção não intumescente em madeira antiga, com ataque por caruncho e previamente tratada com produto oleoso, origina melhoria das propriedades de reacção ao fogo comparativamente à não protecção. No entanto, o desempenho de reacção ao fogo na presença do produto oleoso decresce, face à situação de madeira antiga com ataque por caruncho e com insecticida, evidenciando-se o maior poder calorífico associado ao produto oleoso.

À semelhança das anteriores situações analisadas, o sistema de protecção P1 mostra melhores resultados do que o sistema P2.

D. Apreciação geral da influência das condições do substrato ensaiadas no efeito da protecção não intumescente ao fogo

A aplicação das protecções não intumescentes usadas na campanha (P1 e P2), numa intervenção de uma estrutura antiga que evidencie a presença de tratamentos anteriores, semelhantes aos que resultam da aplicação do produto oleoso contido nos provetes de ensaio, após remoção total das pinturas pré-existentes e posterior aplicação do insecticida, parece favorecer o desempenho de reacção ao fogo da madeira (Figura IV. 16a), comparativamente à situação de não remoção.

A presença do insecticida e do produto oleoso presente nos provetes estudados revelou-se prejudicial para a produção de fumo, dado que os provetes onde se registam as menores produção de fumo são os de madeira nova e sã, dentro de cada sistema de protecção – visível na Figura IV. 16b.

Parece evidente que, face às condições de ensaio da presente campanha e segundo a análise efectuada, o sistema de protecção P1 protege a madeira da acção do fogo, de forma mais independente das condições do substrato ensaiadas, do que a protecção conferida pelo sistema P2 (Figura IV. 16). Desde a obtenção de menores extensões de propagação da chama, passando pela produção de menores quantidades de fumo, com a persistência da chama activa por períodos de tempo inferiores, o sistema de protecção P1, parece ser vantajoso, ainda que envolva um maior consumo húmido de produto retardador de combustão (mais 60 %), embora com um custo por superfície protegida ligeiramente inferior (25 %) (Quadro A. 12, do Anexo A), em menos demãos e sem necessidade do processo de “lixagem intermédia”.

Não obstante, o aspecto estético denunciado pelos provetes que receberam o sistema P1 poderá ser um inconveniente, se for deixado como acabamento final, uma vez que origina a presença de manchas brancas à superfície, sendo naturalmente, mais visíveis no provete COP1, por contraste com o produto oleoso (Figura IV. 17). Já o sistema P2 não mostra condicionamentos estéticos.

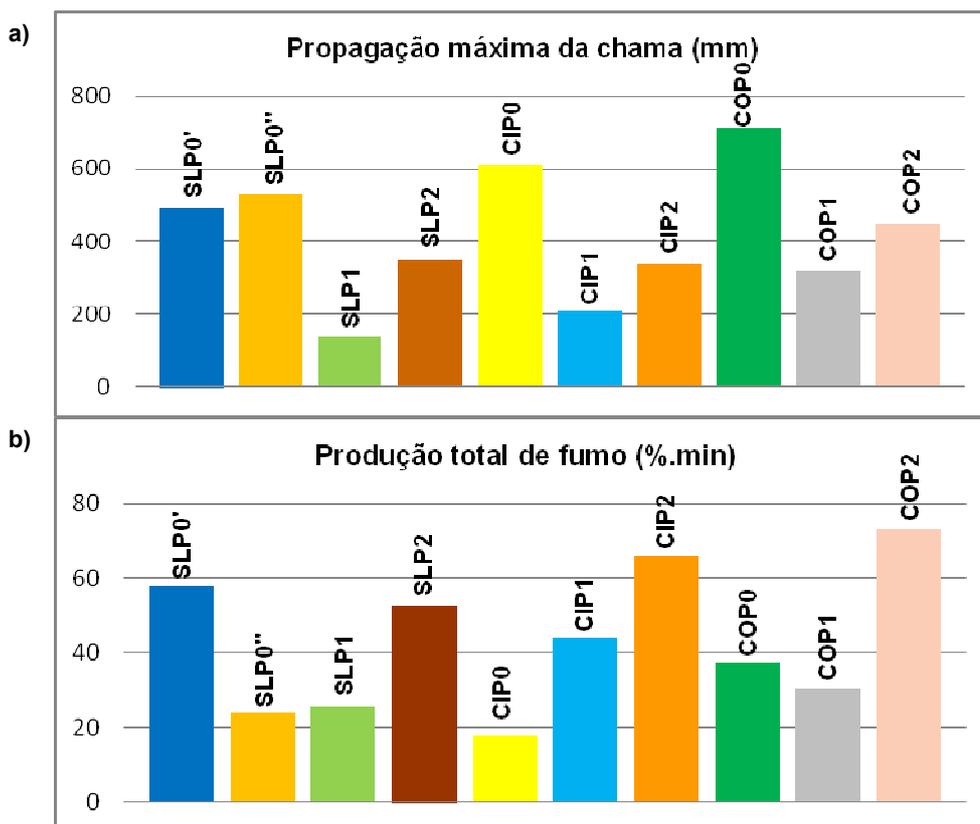


Figura IV. 16 Comportamento dos provetes com protecção não intumescente e correspondentes testemunhos: a) Propagação máxima da chama e b) Produção de fumo

A aplicação do sistema P2 também mostra uma melhoria de comportamento face à acção do fogo, ainda que inferior ao sistema de protecção P1, conforme observado e visível na Figura IV. 16a. Numa situação como o caso de estudo do presente trabalho, a aplicação do sistema P2 não será problemática relativamente à produção de fumo. No entanto, num elemento que devido à sua localização no edifício tenha implicações nos riscos para os utentes nos momentos iniciais de um incêndio, nomeadamente pela produção de fumo, o sistema P1 parece ser mais adequado (Figura IV. 16b).

A exposição dos sistemas de pintura P1 e P2 às fontes de calor evidenciaram o desenvolvimento de mecanismos de reacção distintos, conforme é visível na Figura IV. 18. O facto do sistema P1 ser um impregnante (de superfície, dado o processo de aplicação) e o P2 um verniz (que permite a formação de uma camada com espessura, conforme já observado), certamente justifica os comportamentos distintos. Ainda assim, será interessante realçar que na Figura IV. 18b se observa que a camada superficial do verniz retardador de combustão P2 desenvolve uma ligeira “expansão”, relacionando-se com as observações referentes aos revestimentos não intumescentes apresentadas no subcapítulo III.3.



Figura IV. 17 Manchas brancas no provete COP1, antes do ensaio do painel radiante

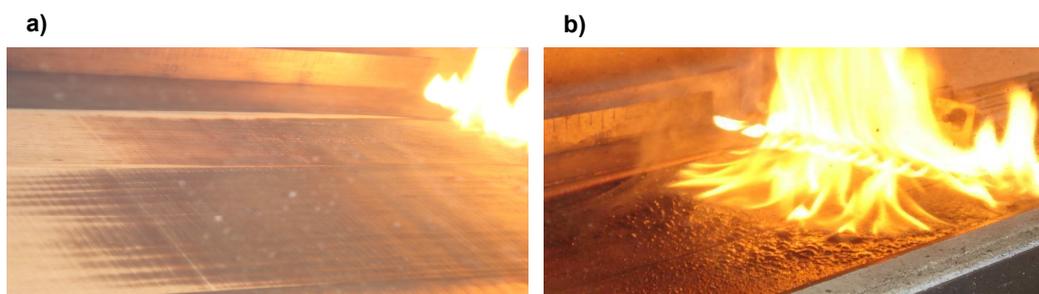


Figura IV. 18 Ensaio do painel radiante dos provetes: a) SLP1 e b) SLP2

IV.7.3.3. Provetes com protecção intumescente ao fogo (P3, P4 e P5)

A. Efeito da protecção ao fogo em madeira nova e sã

Nos provetes de madeira nova e sã, protegidos com pinturas intumescentes, tal como observado nas protecções não intumescentes, verifica-se uma redução de propagação máxima da chama e, conseqüentemente, um aumento do valor do fluxo de calor crítico na extinção da chama; e do tempo de persistência da chama, relativamente aos correspondentes testemunhos não protegidos ao fogo, (Quadro IV. 25). A redução da perda de secção por carbonização também é notória (Figura IV. 19b).

Por um lado, o provete SLP5 registou uma propagação máxima (30 mm) e um tempo de persistência da chama (9 s) ligeiramente superior ao do SLP3. No entanto, aos 600 s de ensaio, a chama no SLP3 já registava o dobro da extensão (Quadro IV. 25). Por outro lado, o provete SLP5 foi o que registou a menor perda de secção por carbonização (Figura IV. 19b).

Relativamente à produção de fumo, observa-se que o SLP3 registou a maior produção, 60 % acima do valor do SLP5 (Quadro IV. 25), com o pico máximo de atenuação luminosa superior aos restantes, no entanto ocorreu 22 s mais tarde que o pico do SLP5 (provete que registou o valor imediatamente inferior, em cerca de 50 %) (Figura IV. 19a). Acrescenta-se que, conforme observado nos correspondentes provetes protegidos com pinturas não intumescentes, verifica-se a antecipação dos picos de atenuação luminosa nos provetes SLP3 e SLP5. No SLP4, antecipa apenas relativamente ao SLP0”.

Quadro IV. 25 Painel radiante – madeira nova e sã + protecção intumescente

SLP0' e SLP0'' – sem protecção ao fogo
SLP3 – com protecção pelo sistema P3
SLP4 – com protecção pelo sistema P4
SLP5 – com protecção pelo sistema P5

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m ³)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
P0	SLP0'	480	0	0	490	3,83	0,00	0,00	3,66	881	57,93	456,8
	SLP0''	460	0	0	530	4,16	0,00	0,00	3,10	1071	23,77	444,6
P3	SLP3	120	0	0	150	≥10,90	0,00	0,00	10,56	754	68,82	513,1
P4	SLP4	40	0	0	40	≥10,90	0,00	0,00	≥10,90	738	12,47	484,3
P5	SLP5	60	0	0	180	≥10,90	0,00	0,00	10,02	763	26,21	524,6

Salienta-se o facto de o SLP4 ter registado a menor produção de fumo, 50 % inferior que o SLP5 (Quadro IV. 25), em todo o conjunto de provetes de ensaio, registando o pico máximo de atenuação luminosa 857 s após o pico alcançado pelo SLP3 (Figura IV. 19a).

Por outro lado, o SLP4 alcançou a menor propagação da chama, e consequentemente, registou o maior fluxo de calor incidente no instante de extinção da frente de inflamação, o que significa que, abaixo deste valor, não mantém a inflamação, contrariamente aos restantes provetes analisados (Quadro IV. 25). Aliás, a propagação alcançada é a menor de todo o conjunto de provetes ensaiados. No entanto, denota-se que, as maiores secções residuais registam-se no SLP5, conforme referido.

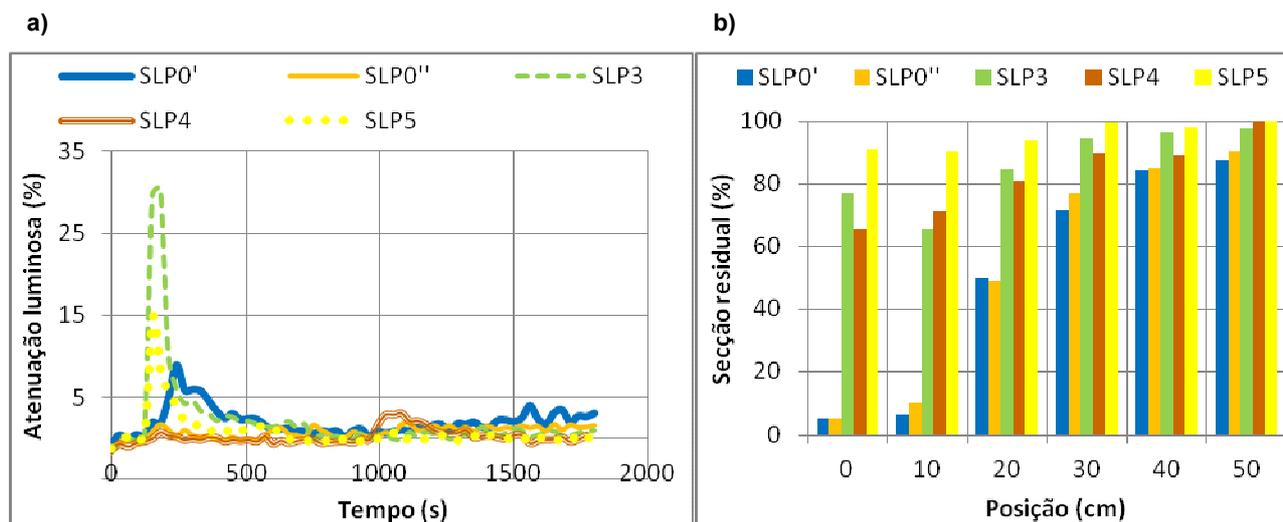


Figura IV. 19 Comportamento dos provetes SLPx com protecção intumescente e respectivos testemunhos: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Conclusão: todos os sistemas de protecção intumescente ensaiados na presente campanha, quando aplicados em madeira nova e sã, demonstram melhorar o desempenho de reacção ao fogo face à opção de não protecção. No entanto, um compromisso entre os parâmetros de reacção ao fogo e os consumos húmidos de cada sistema de protecção aponta o sistema de protecção P4 como sendo possivelmente o mais eficiente, uma vez que combina um menor consumo húmido a um menor número de demãos, conseguindo-se uma eficácia superior em matéria de reacção ao fogo.

B. Efeito da protecção ao fogo em madeira antiga com ataque por caruncho, após remoção do produto oleoso superficial e tratamento com insecticida

No caso dos provetes CIPx com sistema intumescente, também se observa uma melhoria expressiva das propriedades de reacção ao fogo quando são aplicados os sistemas intumescentes estudados, segundo as condições ensaiadas (Quadro IV. 26). Com efeito, a propagação máxima da chama reduz-se, aumentando o fluxo de calor incidente na extinção da frente de inflamação; o tempo de persistência da chama diminui (com excepção do CIP4) e a perda de secção por carbonização também diminui (Figura IV. 20b). Já na produção de fumo verificou-se um aumento, como é visível no Quadro IV. 26.

Quadro IV. 26 Painel radiante – madeira antiga + tratamento com insecticida + protecção intumescente

CIP0 – sem protecção ao fogo
 CIP3 – com protecção pelo sistema P3
 CIP4 – com protecção pelo sistema P4
 CIP5 – com protecção pelo sistema P5

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m ³)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
P0	CIP0	510	0	0	610	3,30	0,00	0,00	2,31	1058	17,89	480,2
P3	CIP3	50	0	0	200	≥10,90	0,00	0,00	9,65	780	77,29	520,9
P4	CIP4	220	200	530	530	9,25	9,65	3,10	3,10	1800	228,2	502,8
P5	CIP5	80	0	0	110	≥10,90	0,00	0,00	≥10,90	759	48,12	493,6

Salienta-se que o provete CIP4 foi o único, de todo o conjunto de provetes ensaiados, no qual foi registado o valor de fluxo de calor crítico na extinção, correspondente ao valor de HF-30 (Quadro IV. 26), o que significa que, foi o único provete em que a frente de inflamação se encontrava na posição de extensão máxima alcançada aquando do fim do ensaio (1800 s). Em consequência, CIP4 detém o maior valor de propagação máxima alcançada pela chama, em todo o conjunto

de provetes protegidos ao fogo, deixando de inflamar para o menor valor de fluxo de calor incidente na frente de inflamação registado, 3,10 kW/m². Acrescenta-se que, dos provetes protegidos por pinturas com propriedades intumescentes e até aqui analisados, o CIP4 foi o único a registar chama até aos 1800 s de ensaio, algo que não se verificou no testemunho CIP0. Importa portanto referir que o sistema P4, aplicado sobre substrato de madeira antiga danificada por caruncho e com o tratamento por insecticida, não parece melhorar o desempenho de reacção ao fogo face aos parâmetros avaliados. Acrescenta-se que, a produção de fumo no CIP4 regista o valor máximo, aliás de todo o conjunto de provetes de ensaio, 66 % acima do CIP3 (proвете que registou o valor imediatamente inferior para o correspondente cenário).

A propagação máxima alcançada pela chama no CIP5 é inferior em 45% à do CIP3 (proвете que registou o valor imediatamente acima), contrariando o comportamento observado no cenário SLPx. Também no que se refere ao tempo de persistência da chama, verifica-se uma inversão do comportamento observado no anterior cenário (SLPx), registando-se menos 33 s no provete CIP5 do que no CIP3 (Quadro IV. 26). Acrescenta-se que a menor perda de secção se verifica no provete CIP5 (Figura IV. 20b), conforme observado nas condições de madeira nova e sã.

A observação dos provetes após o ensaio de reacção ao fogo revelou que os provetes protegidos com o sistema P5 desenvolvem uma camada intumescente mais acentuada que os restantes provetes protegidos ao fogo.

A produção de fumo associada ao sistema de protecção P3 revela-se novamente superior (em 38 %) à produção associada ao sistema P5, contudo menos acentuada do que o registado em madeira nova e sã. Acrescenta-se que, conforme observado no anterior cenário, verifica-se a antecipação dos picos de atenuação luminosa com a aplicação das pinturas intumescentes (Figura IV. 20a).

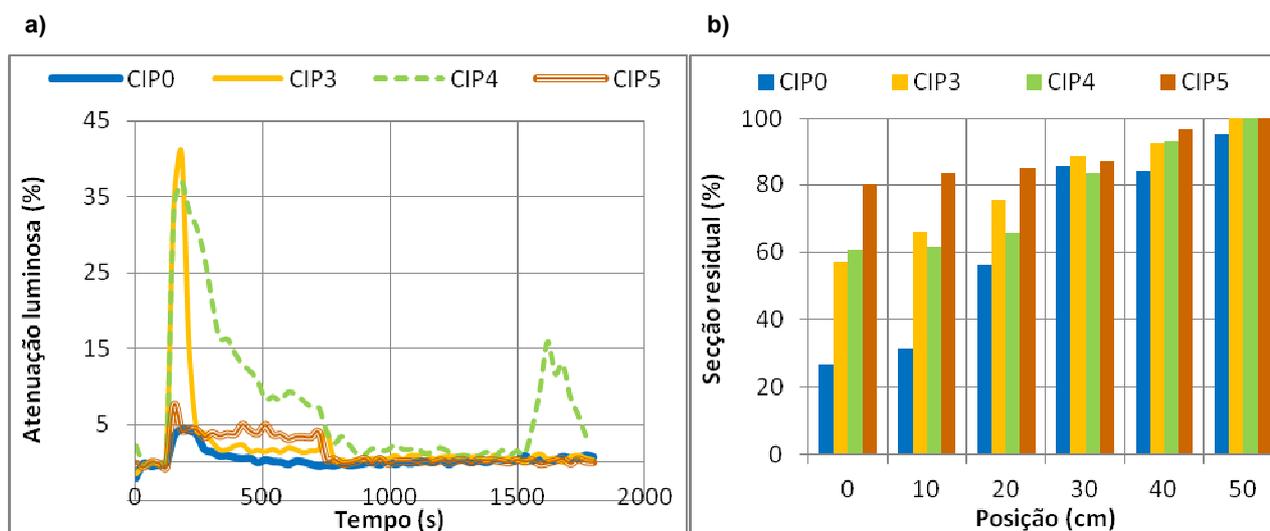


Figura IV. 20 Comportamento dos provetes CIPx com protecção intumescente e respectivo testemunho: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Conclusão: conforme observado no cenário de madeira nova e sã, a aplicação da protecção intumescente ensaiada (P3,P4 e P5) melhora as propriedades de reacção ao fogo da madeira antiga com ataque por caruncho e com insecticida. No entanto, a produção de fumo aumenta. No presente cenário, o CIP4 registou pior desempenho no conjunto de provetes ensaiados, contrariamente às conclusões da situação de madeira nova e sã. O sistema de protecção P5 foi o único que demonstrou um melhoramento nas propriedades de reacção ao fogo, do cenário de madeira nova e sã, para o cenário de madeira antiga com ataque por caruncho, excepto a produção de fumo que aumenta em todos os sistemas.

C. Efeito da protecção ao fogo em madeira antiga com ataque por caruncho e com produto oleoso na superfície

À semelhança dos cenários (condições do substrato) anteriormente analisados, a aplicação dos sistemas de protecção intumescente, na madeira com ataque por caruncho e com produto oleoso, incrementa o seu desempenho de reacção ao fogo. O Quadro IV. 27 evidencia a redução da propagação da chama, o aumento do fluxo de calor incidente no instante de extinção da frente de inflamação, a redução do tempo de extinção da chama (com excepção do COP4) e a (Figura IV. 21b), a diminuição da perda de secção, com a aplicação das pinturas intumescentes. Os ensaios evidenciam também a elevada combustibilidade associada ao produto oleoso presente nos provetes de ensaio, conforme já anteriormente observado.

Quadro IV. 27 Painel radiante - madeira antiga + produto oleoso + protecção intumescente

COP0 – sem protecção ao fogo
COP3 – com protecção pelo sistema P3
COP4 – com protecção pelo sistema P4
COP5 – com protecção pelo sistema P5

Sistema de pintura	Provete	Propagação da chama (mm)				Fluxo de calor (kW/m ²)				Tempo de extinção da chama (s)	Produção total de fumo (%.min)	Massa volúmica (kg/m ³)
		600 s	1200 s	1800 s	Máximo	600 s	1200 s	1800 s	Crítico na extinção			
P0	COP0	390	700	420	710	5,31	1,68	4,74	1,61	1800	37,15	472,2
P3	COP3	60	0	0	180	≥10,90	0,00	0,00	10,02	769	84,02	497,1
P4	COP4	350	420	230	440	6,46	4,94	9,03	4,55	1800	55,2	489,7
P5	COP5	70	0	0	80	≥10,90	0,00	0,00	≥10,90	747	34,01	560,7

O sistema P4, conforme observado nos provetes CIP4 e COP4, mostra um comportamento particular para um retardador de combustão, na medida em que ambos os provetes registam chama até

aos 1800 s de ensaio, o que não sucede nos outros provetes protegidos com sistemas com propriedades intumescentes. Também o valor do fluxo de calor crítico registado na extinção, $4,55 \text{ kW/m}^2$, é substancialmente baixo, comparativamente com os valores registados nos provetes COP3 e COP5, ainda que seja superior ao correspondente provete não protegido ao fogo (Quadro IV. 27). Já a propagação máxima alcançada pela chama também é maior do que no COP3 e COP5 e, conseqüentemente, a perda de secção significativamente maior (Figura IV. 21b).

Aos 600 s de ensaio, a propagação da chama alcançada no COP3 e no COP5 difere em 10 mm, contudo, o máximo de propagação alcançada pela chama regista-se no COP3, bem como o maior tempo de extinção, para um valor de fluxo de calor crítico na extinção inferior (Quadro IV. 27). Já a perda de secção é notoriamente superior no COP3 (Figura IV. 21b).

É curioso notar que, as pinturas intumescentes ensaiadas apresentam melhor desempenho de reacção ao fogo no cenário COPx que no cenário CIPx, com excepção do sistema de protecção P3 que na presença do produto oleoso regista uma aumento da produção de fumo.

Relativamente à produção de fumo dos provetes com o produto oleoso, verifica-se que a aplicação do sistema de protecção P3 conduz à maior produção de fumo (34 % superior à do produto P4, 56 % maior do que a madeira não protegida e cerca de 60 % maior do que o produto P5) (Quadro IV. 27). Ressalva-se que, contrariamente ao comportamento observado nos cenários anteriores e à semelhança das observações nos provetes protegidos com pinturas não intumescentes, a presença do produto oleoso, não antecipa os picos de atenuação luminosa (Figura IV. 21a).

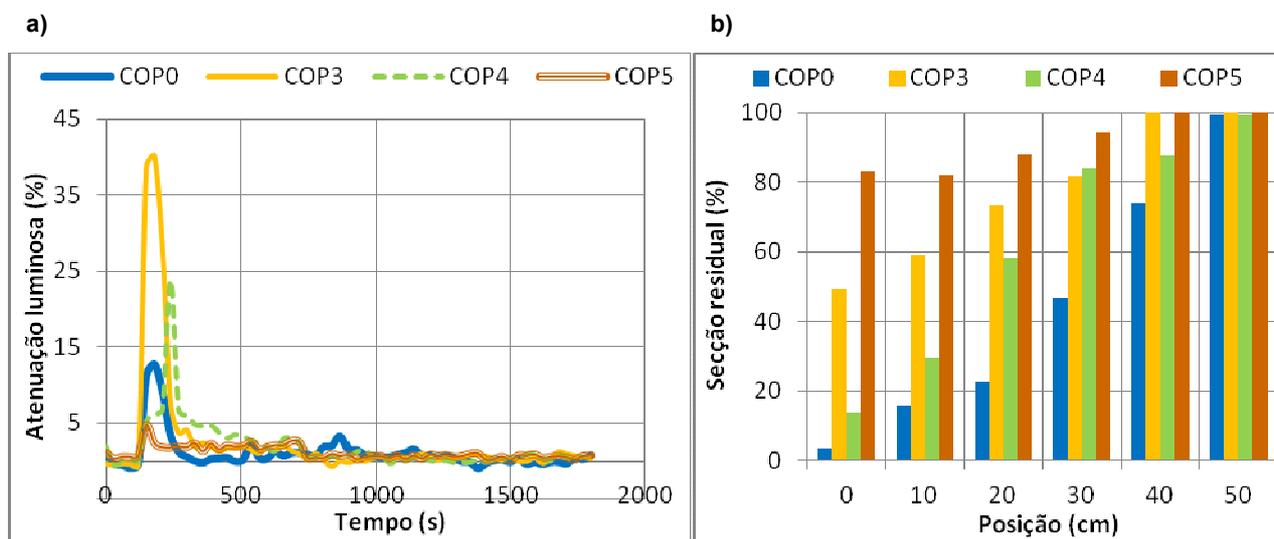


Figura IV. 21 Comportamento dos provetes COPx com protecção intumescente e respectivo testemunho: a) Atenuação luminosa no decorrer do ensaio (valores no instante 0 s correspondem a 0 %) e b) Secções residuais normalizadas

Conclusão: a aplicação dos sistemas de protecção intumescente ensaiados em madeira antiga com ataque por caruncho e com produto oleoso superficial origina melhoria do desempenho de reacção

ao fogo. À semelhança da anterior situação analisada, o sistema de protecção P4 foi o que revelou pior desempenho, ainda que, nesta situação tenha sido o sistema de protecção P3 a registar a maior produção de fumo; e o sistema de protecção P5 foi o que apresentou melhor comportamento face ao ataque do fogo.

D. Apreciação geral da influência das condições do substrato ensaiadas no efeito da protecção intumescente ao fogo

Os resultados sugerem que, o sistema de protecção P5 parece ser o mais versátil, uma vez que demonstra uma compatibilidade maior com tratamentos previamente aplicados à madeira, do que os restantes sistemas de protecção intumescente (Figura IV. 22a), sublinhando-se então, a capacidade de isolamento conferida pelo sistema, bem como o processo de intumescência marcadamente desenvolvido.

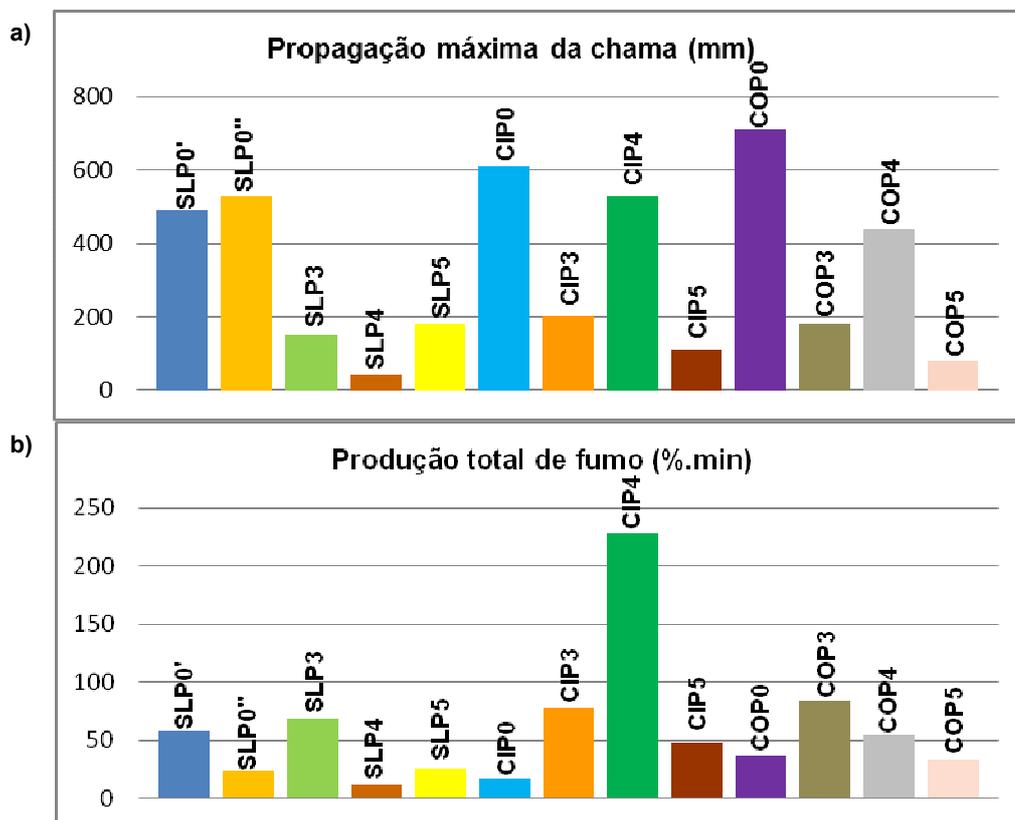


Figura IV. 22 Comportamento dos provetes com protecção intumescente e correspondentes testemunhos: a) Propagação máxima da chama e b) Produção de fumo

Importa referir que, no caso da madeira antiga com ataque por caruncho, tratada quer com o insecticida usado quer com o produto oleoso, os sistemas de protecção P3 e P5 revelam-se muito vantajosos na protecção ao fogo. O sistema P4, não só não manifestou capacidade em reduzir

significativamente a propagação da chama, como a sua utilização revelou-se desaconselhável nas condições ensaiadas, devido ao facto de aumentar drasticamente a produção total de fumo.

Tal como se observou nos sistemas de protecção não intumescente, as menores produções de fumo registam-se nos provetes de madeira nova e sã, pelo que tanto a presença do insecticida usado como do produto oleoso contido nos provetes de ensaio amplificam a produção de fumo (Figura IV. 22b).

As reacções intumescentes desenvolvidas pelos diferentes sistemas de protecção estudados são distintas, partilhando no entanto, uma perceptível acção de protecção, como é visível na Figura IV. 23.

O sistema de protecção P5 é o que desenvolve uma camada intumescente mais marcada, observando-se uma expansão contínua da película de pintura em determinadas zonas (Figura IV. 23c). Já no sistema de protecção P3, observa-se que o efeito intumescente é expressivamente inferior ao registado em P5 (Figura IV. 23a), possivelmente em resultado da quantidade consumida de verniz com propriedades retardadoras de combustão, 30 % maior do que no sistema P5 (Quadro IV. 7). No entanto, a extensão do processo de intumescência é maior no sistema P3, reflexo da propagação máxima alcançada pela chama, superior nos CIP3 e COP3, comparativamente com os do sistema P5. Também no SLP3 se verifica um comportamento idêntico; aliás, observa-se uma maior extensão do processo de intumescência nos provetes SLP3 e CIP3. Estes resultados demonstram que, a camada intumescente do sistema P3 desenvolve-se para menores fluxos de calor incidente face ao sistema P5.

O efeito intumescente desenvolvido pelo sistema P4 é o menos marcado, de entre os sistemas intumescentes ensaiados, observando-se que a camada intumescida segue o andamento dos veios da madeira (Figura IV. 23b). É também o sistema com o menor consumo húmido total (65 % a menos), comparativamente com os sistemas P3 e P5, que apresentam uma pequena diferença entre eles (6 %).

A análise anterior revela que, o desempenho de reacção ao fogo depende da formação de uma camada intumescente acentuada e do consumo húmido de produto intumescente.



Figura IV. 23 Processo intumescente nos provetes: a) SLP3, b) SLP4 e c) CIP5

Relativamente ao aspecto estético, os três sistemas de protecção intumescente incorporados na campanha podem funcionar como acabamento final, nomeadamente o sistema P4 e o P5, tendo em conta que incorporam um verniz de acabamento. Refere-se que, os provetes do sistema P5 apresentam neste caso uma tonalidade alaranjada, reflexo do verniz de acabamento usado ter na sua constituição pigmentos dessa cor.

Face à análise efectuada, numa intervenção em coberturas não acessíveis, parece ser indiferente a opção pelo sistema de protecção P3 ou P5, por apenas se terem registado diferenças notórias na produção de fumo. Se, dada a localização no edifício dos elementos a proteger ao fogo, for necessário entrar em consideração com a produção de fumo, será vantajoso optar pelo sistema de protecção P5, uma vez que registou produções de fumo inferiores ao sistema P3 (Figura IV. 23a).

Já o sistema de protecção P4 demonstrou ser o mais sensível às alterações das condições do substrato, sendo desaconselhável a sua aplicação sobre substratos diferentes dos ideais (madeira nova e sã), face aos resultados obtidos.

De acordo com a análise efectuada, justifica-se a não inclusão de produtos de madeira protegidos com retardadores de combustão, em listas de produtos CWFT (“classificação sem necessidade de ensaio”), conforme apresentado por Santos (2011) e Östman & Mikkola (2006), em resultado da variabilidade inerente a cada produto aplicado, associado ao desempenho de reacção ao fogo.

IV.7.3.4. Protecção intumescente vs. não intumescente

Ultimada a análise individual de cada tipo de revestimento de protecção passiva contra o fogo incorporada na campanha, procede-se a uma análise mais generalista, incidente na comparação dos dois tipos de protecção em análise.

Até aqui, concluiu-se que a aplicação das protecções passivas por pintura, quer intumescente quer não intumescente, possibilita uma melhoria significativa das propriedades de reacção ao fogo dos substratos de madeira considerados. Observou-se uma redução da propagação alcançada pela chama, um correspondente aumento do fluxo de calor incidente na extinção da frente de inflamação e uma redução da perda de secção por carbonização.

No cenário de madeira nova e sã, tendencialmente obtiveram-se melhores desempenhos de reacção ao fogo do que nos cenários de madeira antiga danificada por caruncho. O insecticida usado e o produto oleoso contido nos provetes de ensaio são responsáveis, em parte, pelo decréscimo de desempenho ao fogo observado. Os vazios, uma constante presente nos provetes de madeira antiga, resultante do ataque por caruncho também são um factor preponderante na reacção ao fogo do material, fruto do aumento de superfície específica e, portanto, da superfície exposta à acção

do fogo. Ainda assim, parece ser satisfatório o desempenho demonstrado pelas protecções ensaiadas ao fogo, em substratos de madeira antiga com ataque por caruncho, face aos provetes não protegidos.

Algumas pinturas intumescentes ensaiadas mostraram, nas condições de ensaio, uma eficácia superior às pinturas não intumescentes. Estes sistemas são os que têm maiores consumos húmidos, maior espessura de filme e maiores tempos de mão-de-obra. Acrescenta-se que as pinturas intumescentes apresentam um custo por superfície protegida superior ao das pinturas não intumescentes, quase dez vezes superior (Quadro A. 12, do Anexo A).

Os mecanismos de actuação observados nos diferentes tipos de protecção parecem ser distintos. As pinturas intumescentes apresentam uma perceptível componente física de reacção, que leva ao desenvolvimento de uma camada de protecção do substrato, algo não observado nas protecções não intumescentes ensaiadas. Ainda assim, ressalva-se a ligeira expansão da película de filme, observada nos provetes do sistema não intumescente P2. Já o sistema de protecção não intumescente P1 mostrou um comportamento distinto do sistema de protecção P2, uma vez que não formou película e, alterou a superfície da madeira, uma vez que é um impregnante (de superfície). Portanto, ambos os comportamentos referidos, relativamente aos sistemas de protecção não intumescentes P1 e P2, estão de acordo com as formas de actuação apresentadas no subcapítulo III.3 do presente trabalho. O mesmo se aplica relativamente aos revestimentos intumescentes.

Assim, nota-se que as fronteiras entre a forma de actuação das protecções intumescentes e das não intumescentes não parece ser objectivamente clara. Mas a vertente química dos revestimentos analisados, também não foi avaliada. Acrescenta-se que, conforme referido no subcapítulo III.3, a criação de sinergias resultantes da combinação de diferentes mecanismos torna o tratamento mais eficiente. Neste seguimento denota-se que, o sistema de protecção P5 foi o que se revelou mais versátil e que é apresentado pelos fabricantes como conferindo ambas as protecções - intumescente e não intumescente. Refere-se ainda que, na presente análise foi incluído no grupo dos intumescentes, uma vez que a observação dos provetes após o ensaio de reacção ao fogo, claramente que denota a marcante camada intumescente.

Nota-se que a ETAG 028 (2009), à parte dos revestimentos intumescentes, refere os revestimentos não intumescentes como os tratamentos de impregnação de superfície - o caso do P1 e, os sistemas de camada de encapsulamento. O sistema P2 não consiste num sistema de camada de encapsulamento, atendendo que não alcança uma espessura de pelo menos 1 mm, conforme definido na ETAG 028 (2009). Assim, o sistema P2 poderá ser considerado como um tratamento de impregnação de superfície, ainda que, apresente um comportamento distinto do sistema P1 e um desempenho inferior. Portanto, a subdivisão da protecção não intumescente em tratamento

de impregnação de superfície e sistema de camada de encapsulamento apresentada na ETAG 028 (2009), também não é suficientemente esclarecedora.

Ao longo do presente trabalho experimental foi sentida uma dificuldade constante, relativamente à designação de cada produto ensaiado, face ao tipo de protecção que confere, na medida em que a classificação atribuída pelos fabricantes (por vezes, confusa), nem sempre coincide com o comportamento observado no decorrer do trabalho experimental, acrescido da falta de referência à composição química.

O estudo permitiu observar que, os sistemas intumescentes ensaiados (P3, P4 e P5) asseguraram uma menor perda de secção por carbonização, comparativamente ao sistema não intumescente P2, atendendo às secções residuais obtidas nos provetes correspondentes (Figura IV. 24). Realça-se, contudo, que o sistema de protecção P2 foi o que teve o menor consumo húmido, dos sistemas de protecção ensaiados, com o segundo menor custo por unidade de área; além disso, os respectivos provetes tinham os menores valores médios de massa volúmica, ainda que com diferenças inferiores a cerca de 8 % relativamente aos sistemas P3, P4 e P5.

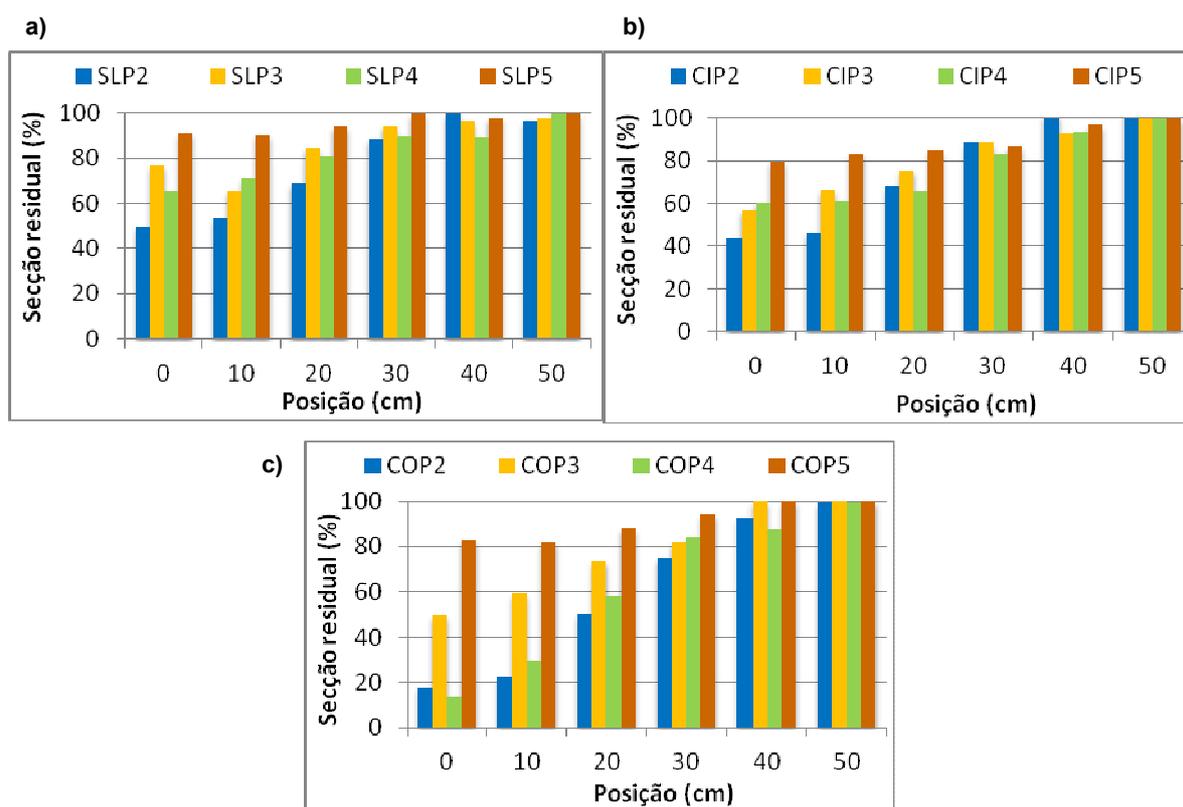


Figura IV. 24 Secções residuais normalizadas dos sistemas de protecção P2, P3, P4 e P5 nos cenários: a) SLPx, b) CIPx e c) COPx

As maiores produções de fumo verificaram-se nos sistemas de protecção P2 e P3, consistindo em sistemas que incluíram apenas a aplicação de um produto, de forma isolada. Acrescenta-se ainda que, conforme observado, a aplicação das pinturas de protecção passiva

ao fogo ensaiadas, antecipam os picos de atenuação luminosa, excepto nas condições do substrato com produto oleoso.

Na situação de madeira nova e sã (limpa), é notório que o sistema de protecção intumescente P4 revelou o melhor desempenho de reacção ao fogo, no conjunto de sistemas de protecção ensaiados. No entanto, também revelou ser o mais sensível às alterações do substrato, conforme observado. Considerando a eficácia do sistema de protecção P5, e sabendo que o sistema P4 também previa a aplicação de um primário, conforme já referido, admitiu-se que a clara redução do desempenho do sistema P4, associada à alteração das condições do substrato, poderá ser atenuada com a aplicação do primário. Com base na hipótese anterior, o sistema de protecção P4 (com inclusão do respectivo primário), foi incorporado na campanha de ensaio do SBI – apresentada no subcapítulo IV. 8.

Efectuando a comparação do sistema de protecção P1 com o P5, uma vez que ambos demonstraram ser os sistemas mais versáteis para protecção ao fogo, observa-se que, no caso de madeira nova, limpa e sã (SLPx), o sistema P1 demonstra uma eficácia ligeiramente superior. Atendendo ao consumo húmido garantido (cerca de menos 37 %), bem como o custo por superfície protegida inferior (cerca de 87 %), também tem uma eficiência superior. Não obstante, volta-se a frisar que o P1 é um tratamento de impregnação (de superfície), não podendo ser deixado como acabamento final, conforme referido. No entanto, nos cenários com condições do substrato diferente dos ideais (CIPx e COPx), o sistema de protecção P5 provou ser mais eficaz. Com efeito, os referidos sistemas de protecção foram incluídos na campanha de ensaio do SBI.

Relativamente à produção de fumo, em todos os cenários considerados, foi o sistema P5 que registou maiores produções, ainda que com diferenças inferiores a 10 %, comparativamente com o sistema P1.

Concluída a análise dos resultados obtidos pelos ensaios do painel radiante, salienta-se que o facto de os provetes terem sido ensaiados na horizontal, sobre superfícies de corte radial ou tangencial, o facto de não se ter garantido os valores regulamentares referentes à humidade relativa dos provetes, o próprio insecticida usado, bem como o produto oleoso contido nos provetes, assim como o facto de se ter usado madeira danificada pela anterior presença de caruncho, e portanto, com uma maior superfície específica, são factores que naturalmente influenciaram, directa ou indirecta, o comportamento em termos de reacção ao fogo. Acrescenta-se que a heterogeneidade de variados aspectos difíceis de controlar/quantificar, como a ligação macho-fêmea, eventuais defeitos da madeira, assim como as diferentes quantidades de borne ou cerne presentes nos provetes usados, também interferiram certamente, nos resultados obtidos. Por estas razões as conclusões avançadas são válidas para as condições de ensaio preconizadas na presente campanha, devendo haver cautela na sua extrapolação.

IV.8. Ensaio do objecto isolado em combustão

Numa segunda fase da campanha experimental, desenvolveram-se os ensaios do SBI (do inglês *Single Burning Item*, objecto isolado em combustão), tendo em conta os resultados dos ensaios do painel radiante, anteriormente discutidos.

O método de ensaio do SBI, descrito na norma EN 13823 (2010), determina a libertação de calor do provete de ensaio, com base no registo contínuo da temperatura e da diminuição da concentração de oxigénio (como medida indirecta de estimativa do débito calorífico). A produção de fumo é outro parâmetro que o ensaio determina, através do registo contínuo da temperatura, da diferença de pressão e da atenuação luminosa resultante do fumo produzido. Os referidos parâmetros são registados numa secção da conduta de exaustão dos gases de combustão. É ainda possível observar a propagação da chama e a libertação de gotas ou partículas inflamadas. Assim, à semelhança do ensaio do painel radiante, é possível avaliar o desempenho dos sistemas de protecção seleccionados, bem como o risco para os utilizadores nos momentos críticos de deflagração de um incêndio.

O presente ensaio foi desenvolvido especificamente no âmbito do sistema de Euroclasses de reacção ao fogo da generalidade dos produtos de construção, conforme referido. Tem como referência a situação de fogo num compartimento em que o produto de construção está aplicado, formando um canto - circunstância particularmente desfavorável, e é sujeito ao ataque directo pelas chamas e pela radiação térmica originada pela combustão de um elemento ou componente isolado (por exemplo, pequena peça de mobiliário ou cesto de papéis) (Santos, 2011).

Contrariamente ao ensaio do painel radiante, para o caso específico do presente trabalho, o ensaio do SBI permite avaliar o respectivo produto de construção na sua utilização final que, conforme referido, pode influenciar o seu desempenho de reacção ao fogo (Östman & Mikkola, 2006). O respectivo ensaio permite ainda reproduzir, com razoável fiabilidade, as características e as condições de aplicação real do produto, em virtude das dimensões do provete e do dispositivo de ensaio (Coelho, 2010).

Conforme já referido, foram incluídos na campanha do SBI, os sistemas de protecção que demonstraram maiores potencialidades no domínio de reacção ao fogo, com base na anterior análise de resultados do ensaio do painel radiante (P1, P4 com o respectivo primário, e P5).

Em resultado das limitações de disponibilidade de madeira da estrutura da cobertura, conforme mencionado, utilizou-se madeira de soalho, que se admite ser comparável, com os provetes retirados da zona central dos elementos da estrutura da cobertura (ensaiados no painel radiante). Para o ensaio do SBI, utilizou-se a face que não esteve sujeita a acções mecânicas (contraface), limitando-se também a influência de eventuais produtos aplicados durante a vida útil do soalho.

À semelhança do ensaio do painel radiante realizado na anterior campanha, no presente ensaio do SBI, não se pretende a obtenção da classificação em termos de reacção ao fogo dos sistemas aplicados, uma vez que os ensaios efectuados não são normalizados (as dimensões adoptadas para os provetes são inferiores às requeridas, o número de réplicas não é suficiente e a potência calorífica debitada pela fonte de calor é intencionalmente inferior à estabelecida pela norma), razão pela qual, as classificações não são incluídas no presente trabalho.

IV.8.1. Procedimento

Os ensaios do SBI, à semelhança dos ensaios do painel radiante, foram realizados no LERF/LNEC, pelos respectivos técnicos, tendo sido ensaiados 10 provetes, em dois dias de ensaios (Anexo B, Quadro B. 3).

No início de cada dia de ensaio, o equipamento foi adequadamente calibrado com base na norma EN 13823 (2010), mas com os devidos ajustes uma vez que se optou por reduzir a potência térmica debitada pelo queimador de 30 kW para 11 kW. Esta redução permite uma análise mais ajustada à quantidade de material presente em cada ensaio. A potência calorífica de 30 kW no ensaio europeu do SBI representa, convencionalmente, a quantidade de calor libertada por um cesto de papéis a arder, (estrategicamente) colocado num canto, que se considera ser representativo da situação mais desfavorável.

O referido ajuste estabelece uma possível ponte de comparação, ainda que em termos relativos, com os resultados obtidos na campanha anterior, uma vez que as fontes de ataque, dos dois ensaios de reacção ao fogo, são distintas: num temos um painel que emite radiação térmica sobre o provete de ensaio (11kW/m^2 registados na situação mais desfavorável), juntamente com uma chama piloto, com o papel de provocar a ignição no provete de ensaio; no ensaio do SBI, a fonte de calor é uma chama que debita uma potência calorífica, neste caso, de 11 kW (admitindo-se como a potencia média na superfície directamente afectada pelo queimador), responsável por provocar a ignição e com intensidade suficiente para causar danos (directos) no provete de ensaio. Acrescenta-se que não há radiação térmica independente no SBI, como no ensaio do painel radiante, apenas a radiação originada pela combustão no queimador (fonte de calor).

A estabilização da massa dos provetes antes do ensaio deve ser feita em ambiente condicionado específico, segundo a norma EN 13238 (2010). Contudo, efectuou-se o mesmo procedimento adoptado no ensaio do painel radiante, tendo-se registado os valores apresentados no Quadro IV. 28.

Quadro IV. 28 Valores de temperatura e humidade relativa do ar, nas 48h antes dos ensaios do SBI

Dia de ensaio	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
27 de Fevereiro de 2012	14,0	0,5	46,0	6,1
28 de Fevereiro de 2012	14,5	0,6	60,5	5,2

A montagem do provete de ensaio no carrinho porta provetes teve determinadas particularidades, em resultado de não terem sido adoptadas as dimensões definidas na norma EN 13823 (2010). O provete de ensaio é constituído por duas abas rectangulares ortogonais, que encostam uma na outra, no carrinho porta provetes, formando um diedro vertical. Cada aba foi aparafusada a uma placa de fibrocimento de dimensões normalizadas, na zona mais afastada do queimador principal, para limitar a transferência de calor para o interior dos provetes de ensaio através dos parafusos. O espaço remanescente foi preenchido por lã de rocha, sobrepondo alguns centímetros no limite da madeira e fixado com recurso a agrafos, conforme é visível na Figura IV. 25b. Ambos os materiais utilizados são não-combustíveis (Santos, 2011), assegurando portanto, que o ataque da chama apenas ocorre na face de ensaio (face onde se aplicou os Px). Acrescenta-se que o carrinho porta provetes está equipado com uma estrutura que permite o encosto, assim como a fixação do conjunto emparelhado. Em cada montagem, procurou-se garantir o adequado ajustamento do provete à estrutura de ensaio.

Na Figura IV. 25 são apresentados os princípios de ensaio do SBI, definidos na norma EN 13823 (2010), onde se distingue dois períodos: o “período de *baseline*” e o “período de exposição”.

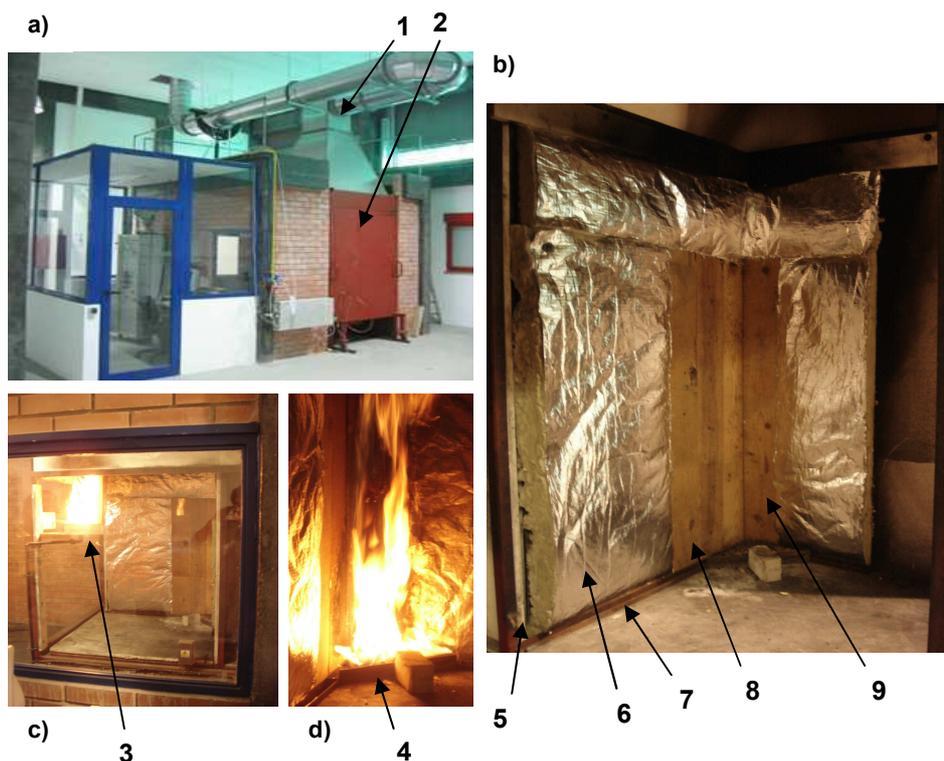
O “**período de exposição**” tem a duração de 1200 s ($300 \text{ s} \leq t \leq 1500 \text{ s}$), durante o qual é avaliada a produção de calor e a produção de fumo do conjunto - queimador principal e provete de ensaio. Durante este intervalo de tempo, o provete de ensaio é exposto às chamas (acção directa) provenientes do queimador principal localizado na base do canto – visível na Figura IV. 25d. As chamas são conseguidas através da combustão de gás propano, injectado da caixa de areia, com uma potência térmica de 11 kW (para o caso específico da presente campanha experimental).

Antes da ignição do queimador principal, que ocorre aos 300 s de ensaio, durante um curto período de tempo ($210 \text{ s} \leq t \leq 270 \text{ s}$), é avaliada a libertação de calor e a produção de fumo, apenas do queimador, através de um segundo queimador idêntico ao primeiro, mas afastado do provete de ensaio – visível na Figura IV. 25c. A este intervalo dá-se o nome de “**período de *baseline***”.

Assim, a subsequente libertação de calor e a produção de fumo, apenas do provete de ensaio, é calculada através da subtração da média dos registos efectuados durante o “período de *baseline*”, ao total de calor e de fumo produzidos pelo conjunto - queimador principal e provete de ensaio.

Refere-se que a ignição do queimador auxiliar ocorre aos 120 s de ensaio. Durante o intervalo que o antecede, são registados os parâmetros anteriormente referidos, relativamente às condições ambiente.

Os referidos parâmetros são registados automaticamente pelo equipamento. No entanto, existem outros parâmetros que o ensaio também permite avaliar – a propagação lateral da chama e a queda de gotas ou de partículas inflamadas, por apreciação visual. Nos ensaios realizados, em resultado das dimensões adoptadas, não foi possível avaliar os referidos parâmetros.



Legenda:

1 – Conduta de exaustão;
2 - Carrinho porta provetes
na posição do SBI;
3 - Queimador auxiliar;

4 - Queimador principal (caixa de areia);
5 – Placa de fibrocimento;
6 – Lã de rocha;

7 – Rodapé;
8 – Aba comprida;
9 – Aba curta.

Figura IV. 25 a) Equipamento do SBI (LERF/LNEC); Perspectiva do provete CLP0: b) antes de ensaio, c) durante o “período de *baseline*” e d) durante o “período de *exposição*”

Concluído o ensaio, os resultados vêm expressos nos seguintes parâmetros, segundo a norma EN 13823 (2010):

- ❖ **HRR_{30s}**: média deslizante dos valores medidos nos 30 s em torno do instante t (desde 15 s antes, até 15 s depois) da taxa de libertação de calor do provete (kW);
- ❖ **SPR_{60s}**: média deslizante dos valores medidos nos 60 s em torno do instante t (desde 30 s antes, até 30 s depois) da taxa de produção de fumo do provete (m²/s);

- ❖ **THR_{600s}**: calor total libertado do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal (MJ);
- ❖ **TSP_{600s}**: produção total de fumo do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal (m²);
- ❖ **FIGRA_{0,2 MJ}**: do inglês *Fire Growth Rate*, taxa de desenvolvimento do fogo. É definida como o máximo da razão entre a taxa de libertação de calor do provete e o tempo em que ocorre, durante o período de exposição em que o HRR_{av} é superior a 3 kW e o THR é superior a 0,2 MJ (W/s);
- ❖ **FIGRA_{0,4 MJ}**: é definida como o máximo da razão entre a taxa de libertação de calor do provete e o tempo em que ocorre, durante o período de exposição em que o HRR_{av} é superior a 3 kW e o THR é superior a 0,4 MJ (W/s);
- ❖ **SMOGRA**: do inglês *Smoke Growth Rate*, taxa de desenvolvimento de fumo. É definido como o máximo da razão entre a taxa de produção de fumo do provete e o tempo em que ocorre, durante o período de exposição em que o SPR_{av} é superior a 0,1 m²/s e o TSP é superior a 6 m² (m²/s²).

Acrescenta-se que, a norma EN 13823 (2010) especifica que, com excepção dos primeiros 12 s de exposição ao queimador principal, HRR_{av} é igual ao HRR_{30s}, para efeitos de cálculo do FIGRA. Já para efeito de cálculo do SMOGRA, SPR_{av} é igual ao SPR_{60s}, com excepção dos primeiros 27 s de exposição ao queimador principal.

Refere-se que a avaliação de parâmetros durante o período de 600 s de ensaio representa, genericamente, o tempo de evacuação das pessoas, numa possível situação de deflagração de um incêndio.

IV.8.2. Apresentação de resultados

No ensaio do SBI, foram vários os procedimentos adoptados que não respeitaram a norma EN 13823 (2010), tendo já sido devidamente fundamentadas as várias opções tomadas. Não obstante, no Quadro IV. 29 apresentam-se os parâmetros avaliados referentes à produção de calor, ao passo que no Quadro IV. 30 expõe-se os parâmetros de avaliação da produção de fumo, para o conjunto de provetes de ensaio.

À semelhança da campanha anterior, assegurou-se a criação de uma base de registos fotográficos - antes, durante e pós ensaio, de forma a auxiliar a análise dos resultados obtidos. No Anexo B, são incluídos os registos fotográficos dos provetes, pós ensaio.

REACÇÃO AO FOGO DE MADEIRA ANTIGA PROTEGIDA COM REVESTIMENTOS
RETARDADORES DE COMBUSTÃO

Quadro IV. 29 Parâmetros de reacção ao fogo, segundo o ensaio do SBI

Sistema de pintura	Provete	THR _{600s} (MJ)	FIGRA _{0,2 MJ}		FIGRA _{0,4 MJ}	
			Máximo (W/s)	Tempo (s)	Máximo (W/s)	Tempo (s)
P0	CLP0	6,7	59,9	636	59,9	636
	COP0	7,6	120,3	474	120,3	474
	STP0	6,0	56,3	741	56,3	741
P1	CLP1	1,5	19,8	801	19,8	801
	COP1	2,4	22,0	825	22,0	825
	STP1	2,2	22,2	738	22,2	738
P4	CLP4	2,8	28,6	669	28,6	669
	COP4 ⁽¹⁾	3,7	-	-	-	-
P5	CLP5	0,4	64,0	366	não alcançado	-
	COP5	0,9	290,9	348	238,4	360

⁽¹⁾ Decorridos 900 s de ensaio, verificou-se a extinção do queimador principal, razão pela qual os dados registados após este instante não são apresentados.

Quadro IV. 30 Parâmetros de avaliação da produção de fumo, segundo o SBI

Sistema de pintura	Provete	TSP _{600s} (m ²)	SMOGRA	
			Máximo (cm ² /s ²)	Tempo (s)
P0	CLP0	36,9	3,1	624
	COP0	71,0	7,7	477
	STP0	19,1	1,7	1047
P1	CLP1	24,1	2,0	801
	COP1	35,7	0,9	1500
	STP1	15,8	não alcançado	-
P4	CLP4	22,2	não alcançado	-
	COP4	51,7	6,0	555
P5	CLP5	8,6	não alcançado	-
	COP5	10,4	não alcançado	-

IV.8.3. Análise de resultados

A presente análise de resultados debruça-se sobre os parâmetros de reacção ao fogo avaliados no ensaio do SBI, comparando os diferentes cenários considerados e os diversos sistemas aplicados, complementado com as observações do ensaio do painel radiante, ainda que de uma forma relativa.

Conforme já anteriormente referido, o equipamento do SBI foi calibrado no início de cada dia de ensaios, adaptando as indicações definidas na norma EN 13823 (2010) para uma potência calorífica de 11 kW. Assume-se portanto que as condições de ensaio foram semelhantes nos dois dias de ensaios, não havendo quaisquer aspectos dos ensaios individuais com influência nos resultados obtidos.

À semelhança dos resultados obtidos na campanha do ensaio do painel radiante, a não estabilização da massa dos provetes no intervalo de valores (23 °C, 50 % de HR) definido na norma EN 13238 (2010), revelou-se uma opção razoável, atendendo a que o ambiente normalizado

se afastava muito da gama de valores registados na sala de ensaios do Núcleo de Estruturas de Madeira, mais próximos das condições normais em coberturas.

A análise dos resultados obtidos no ensaio do SBI, desenrolou-se nos mesmos moldes que na anterior campanha do painel radiante: dos testemunhos e, posteriormente, da protecção ao fogo, acrescido de uma tentativa de comparação, ainda que em termos relativos, entre os dois ensaios, nomeadamente para avaliação da fidedignidade dos resultados da anterior campanha, não obstante a orientação do produto ensaiado (horizontal, em vez de vertical). Assim, as conclusões retiradas dizem respeito apenas às condições de ensaio.

IV.8.3.1. Provetes sem protecção ao fogo

A análise dos testemunhos de madeira antiga e danificada por caruncho, ensaiados no SBI demonstra que a presença do produto oleoso na superfície do provete (COP0) origina um aumento acentuado da taxa de libertação de calor nos instantes iniciais do período de exposição, cerca de 100 s mais cedo do que no provete em que se efectuou a remoção do produto oleoso superficial (CLP0). Com efeito, a libertação total de calor nos primeiros 600 s do período de exposição é superior e o FIGRA registado, o dobro do valor obtido no CLP0, num menor intervalo de tempo desde o início de exposição do queimador principal (Figura IV. 26). É, portanto, evidente o poder calorífico do referido produto oleoso que, conforme observado no ensaio do painel radiante, funciona como combustível, alterando expressivamente os parâmetros de reacção ao fogo do substrato. Complementa-se que, tendo o ensaio já terminado, a chama manteve-se activa, na parte superior do canto, tendo sido extinta por intervenção do operador, à semelhança do que sucedera no ensaio do painel radiante.

Também a produção de fumo está de acordo com os resultados do painel radiante, verificando-se, na presença do produto oleoso uma maior produção (cerca de 50% a mais) e num menor intervalo de tempo, desde o início de exposição do queimador principal. Destaca-se a taxa constante de produção de fumo registada no COP0, evidenciando os efeitos da presença do produto oleoso ao longo do provete e a sua contribuição para a produção de fumo (Figura IV. 27).

A massa volúmica do provete CLP0 é 24 % superior que a do COP0 e no Quadro A. 11 do Anexo A, nota-se que os provetes referentes ao cenário COPx foram dos mais prejudicados, relativamente ao comprimento conseguido no seu fabrico.

Complementa-se que o COP0 registou os valores máximos de libertação de calor, de produção de fumo e de SMOGRA, no conjunto de provetes de ensaio (Quadros IV. 29 e 30).

COP0 – madeira antiga danificada por caruncho e com produto oleoso na superfície
CLP0 – madeira antiga danificada por caruncho e após remoção do produto oleoso superficial
STP0 – madeira nova e sã com produto à base de azóis de cobre

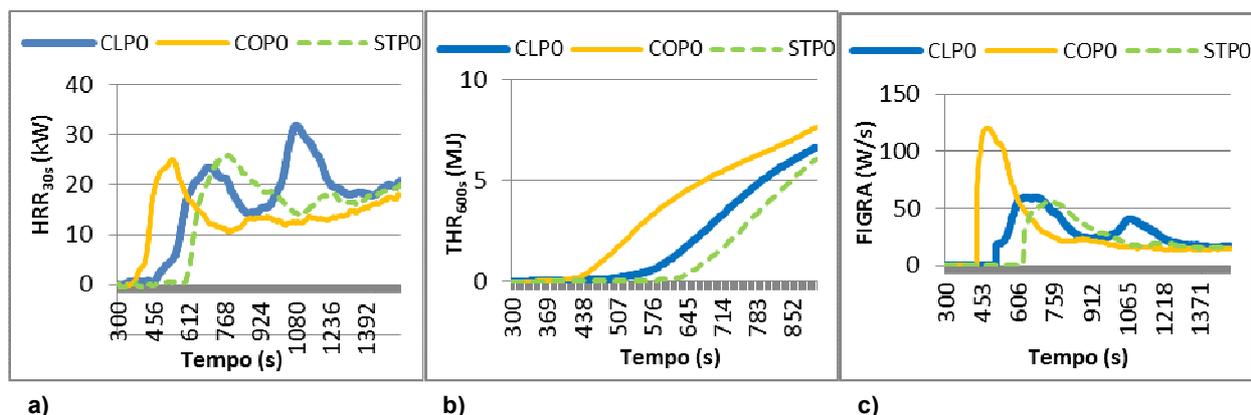


Figura IV. 26 Comportamento dos provetes de referência: a) Média deslizante dos valores medidos nos 30 s em torno do instante t (desde 15 s antes, até 15 s depois) da taxa de libertação de calor do provete, b) Calor total libertado do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento do fogo

Não obstante a análise efectuada, importa referir que os picos da taxa de libertação de calor registados no decorrer do ensaio do CLP0 (Figura IV. 26a) podem ser justificados pela origem do substrato usado, uma vez que os provetes obtidos da madeira de soalho apresentam um desenvolvimento da taxa de libertação de calor distinta dos restantes provetes de ensaio. De acordo com as considerações anteriormente efectuadas e com a anterior análise dos resultados do ensaio do painel radiante, o provete CLP0 parece encontrar-se numa posição intermédia entre o CLP0' e o CLP0'' (provetes ensaiados no painel radiante), na medida em que pode conter vestígios de algum produto (cera, por exemplo, ou tratamento prévio), não despistado aquando da observação inicial do provete. Destaca-se ainda, a taxa de produção de fumo do CLP0 que, próximo dos 1200 s de ensaio, ultrapassa a produção do COP0 (Figura IV. 27a). No ensaio do painel radiante, o CLP0' (provette com produto oleoso a 2 cm da face ensaiada) registou uma produção de fumo 12 % superior à do COP0. Acrescenta-se que, conforme observado no ensaio do painel radiante, durante os ensaios de reacção ao fogo do SBI, também se observou a exsudação de resina, nos nós presentes nos provetes de ensaio, aumentando pontualmente o grau de combustibilidade, como é exemplo o CLP0 (Figura A. 5, Anexo A).

O provete tratado com produto à base de azóis de cobre (madeira nova e sã) apresentou um desenvolvimento da taxa de libertação de calor similar ao do provete com o produto oleoso (madeira antiga danificada por caruncho); no entanto, o aumento acentuado dessa taxa apenas ocorreu 200 s depois, para uma massa volúmica superior em 25 %. Além disso, a libertação total de calor no STP0 foi cerca de 20 % inferior e o FIGRA metade do valor registado no COP0, com um máximo registado perto de 300 s depois (Figura IV. 26). Importa destacar que, apesar da origem do substrato ser diferente, apresentando diferentes superfícies específicas expostas à fonte de calor, parece notar-se

que o poder calorífico do produto à base de azóis de cobre é inferior ao produto oleoso. Já a produção de fumo na presença de azóis de cobre foi 70 % inferior à registada na presença dos óleos (Figura IV. 27b).

Comparativamente com a situação em que se procede à remoção do produto oleoso superficial (CLP0), a libertação total de calor do STP0 é cerca de 10 % inferior, o FIGRA similar, ainda que tenha sido registado cerca de 100 s mais tarde (Figura IV. 26), e a produção de fumo cerca de 50% inferior (Figura IV. 27b), para uma massa volúmica idêntica. Dado que os resultados anteriores sugerem que CLP0 poderia conter vestígios de qualquer produto aplicado durante a vida do soalho, não é possível estabelecer com rigor a influência do tratamento em profundidade (STP0) face a madeira nova sem qualquer tratamento.

A observação dos provetes após o ensaio de reacção ao fogo denota que, de uma forma geral, os provetes apresentam uma perda de material na zona do encontro das duas abas, bem como na junta (entre tábuas da aba comprida) mais próxima da aba curta – conforme é visível na Figura B. 4, do Anexo B. Naturalmente que nas referidas zonas se observa o ataque do fogo também na contraface. Tentou-se, com os cuidados de montagem, atenuar a influência de variações geométricas entre provetes, resultante das suas dimensões não normalizadas, bem como os possíveis empenos, mas ainda assim é razoável estes poderem ser responsáveis, em parte, pelo desempenho de reacção ao fogo dos diversos provetes.

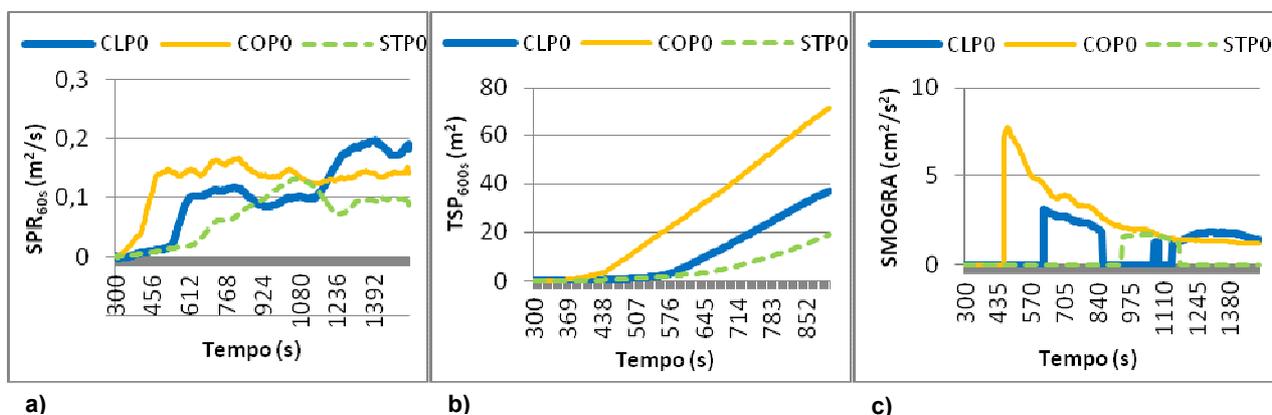


Figura IV. 27 Comportamento dos provetes de referência: a) Média deslizante dos valores medidos nos 60 s em torno do instante t (desde 30 s antes, até 30 s depois) da taxa de produção de fumo do provete, b) Produção total de fumo do provete nos primeiros 60 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento de fumo

Conclusão: o comportamento observado no provete com produto oleoso (COP0) no presente ensaio, segue o comportamento observado no ensaio do painel radiante, na medida em que também actuou como combustível.

O comportamento observado no provete CLP0 denota que, a presença de possíveis tratamentos prévios, mesmo que não sejam visíveis, pode influenciar o desempenho de reacção ao fogo.

A situação de madeira nova e sã com produto à base de azóis de cobre apresenta um desempenho superior ao registado nos restantes provetes da presente análise.

IV.8.3.2. Provetes com protecção ao fogo

A. Efeito da protecção não intumescente ao fogo em madeira nova e sã, com tratamento prévio com produto à base de azóis de cobre

O provete de madeira nova e sã, submetido a tratamento preservador com produto à base de azóis de cobre e não protegido ao fogo, regista um intervalo de 282 s entre o início da exposição ao queimador principal e o aumento expressivo da taxa de libertação de calor (Figura IV. 28). A protecção ao fogo, do mesmo substrato, pelo sistema de protecção P1, também conduz a um aumento da taxa de libertação de calor, decorridos os 282 s de ensaio, mas com uma diferença (menos 15 kW) da taxa de libertação de calor, para uma massa volúmica superior em 4 %. Também o FIGRA é registado no mesmo intervalo de tempo, mas com um valor naturalmente inferior (em 60 %), para o STP1. Já a produção de fumo é menor (17%) no STP1, não havendo registos do valor de SMOGRA (Figura IV. 29).

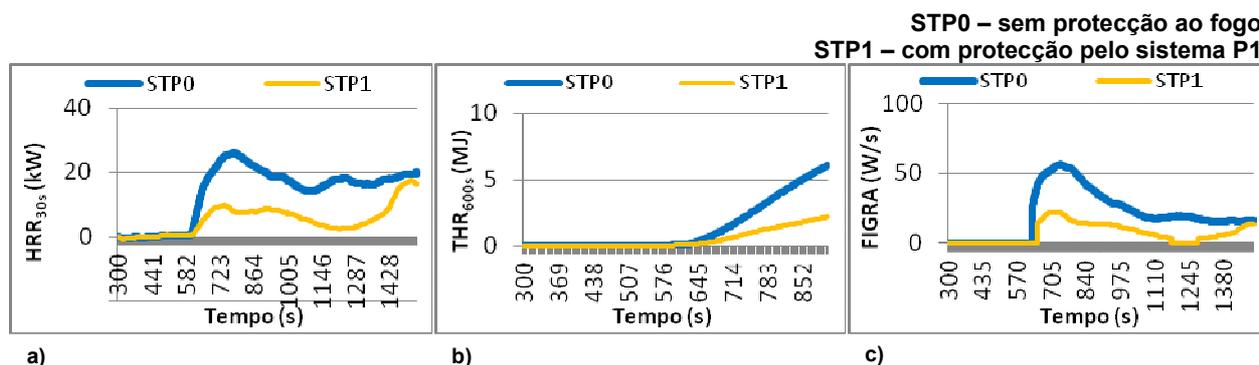


Figura IV. 28 Comportamento dos provetes sujeitos a tratamento com produto à base de azóis de cobre: a) Média deslizante dos valores medidos nos 30 s em torno do instante t (desde 15 s antes, até 15 s depois) da taxa de libertação de calor do provete, b) Calor total libertado do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento do fogo

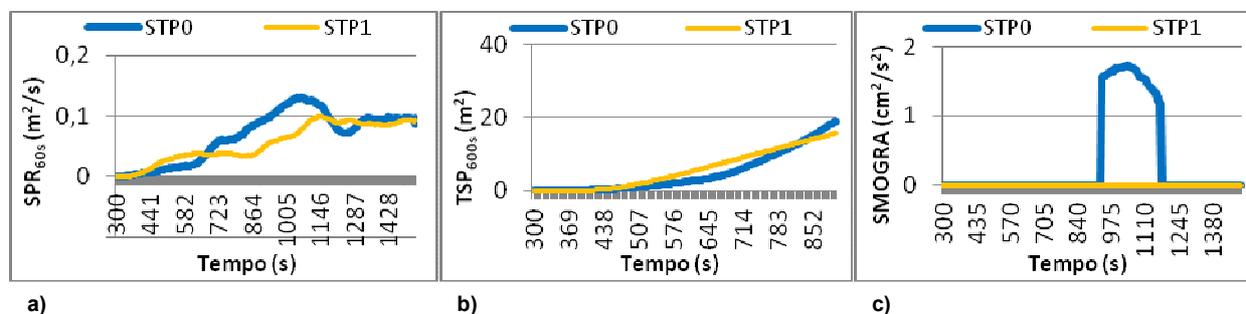


Figura IV. 29 Comportamento dos provetes sujeitos a tratamento com produto à base de azóis de cobre: a) Média deslizante dos valores medidos nos 60 s em torno do instante t (desde 30 s antes, até 30 s depois) da taxa de produção de fumo do provete, b) Produção total de fumo do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento de fumo

Conclusão: optando por um tratamento (prévio) preservador em profundidade com produto à base de azóis de cobre, a protecção ao fogo com o sistema não intumescente P1 melhora o desempenho em termos de reacção ao fogo, face aos resultados obtidos.

B. Efeito da protecção ao fogo em madeira antiga danificada por caruncho e após remoção do produto oleoso superficial

Observa-se que a aplicação dos sistemas de pintura (provetses CLPx) protege o substrato face à acção do fogo, promovendo a libertação de menores quantidades de calor (Figura IV. 30a e b), bem como reduzindo a produção de fumo (Figura IV. 31a e b). No entanto, será interessante salientar os diferentes comportamentos evidenciados pelos diversos sistemas ensaiados e correlacionar estes resultados com a análise da campanha anterior.

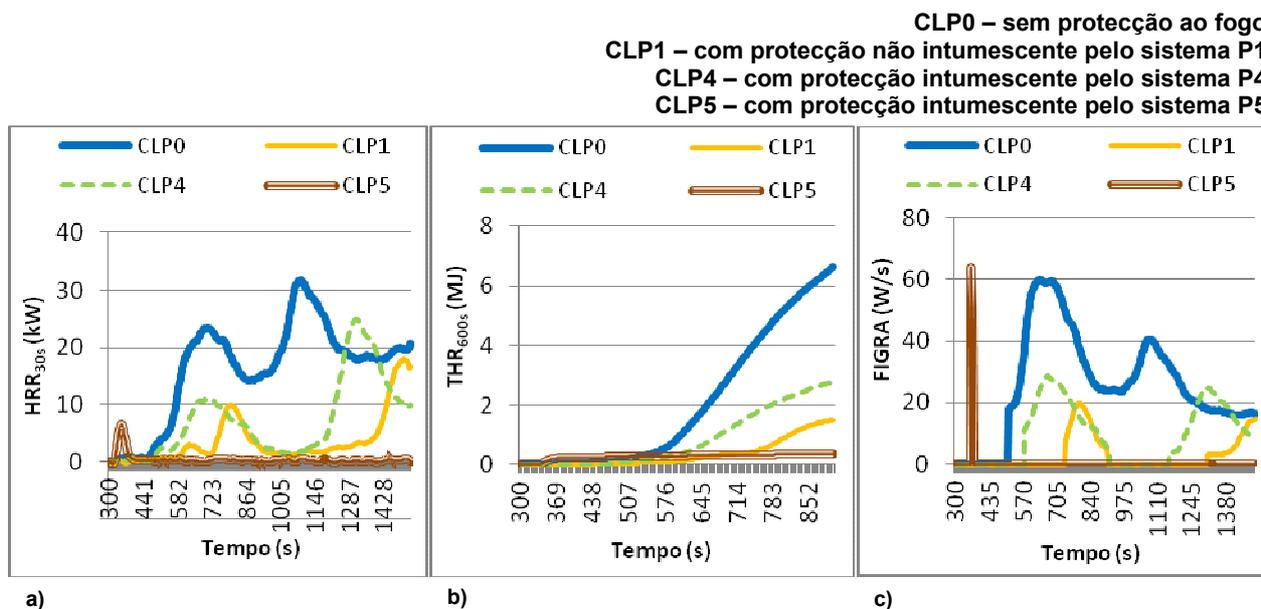


Figura IV. 30 Comportamento dos provetes sujeitos à remoção do produto oleoso superficial: a) Média deslizante dos valores medidos nos 30 s em torno do instante t (desde 15 s antes, até 15 s depois) da taxa de libertação de calor do provete, b) Calor total libertado do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento do fogo

Conforme já destacado na análise dos provetes sem protecção ao fogo, o CLP0 demonstrou determinadas particularidades no seu comportamento face à acção do fogo. Também o CLP1 e o CLP4 registaram desenvolvimentos da taxa de libertação de calor semelhantes aos do CLP0, embora com taxas inferiores, em consequência da protecção ao fogo (Figura IV. 30a). Tendo em conta a análise anterior, será razoável admitir que os referidos comportamentos são o reflexo da origem do substrato utilizado, atendendo a que este só se verifica nos provetes de ensaio provenientes da madeira de soalho. Observa-se um pico de libertação de calor, seguido de uma

redução, para depois se registar outro pico, desta vez o máximo. A redução na libertação de calor pode ser justificada pela carbonização da camada superficial e consequente protecção do ataque da fonte de calor, no caso do CLP0; nos casos dos provetes CLP1 e CLP4, a esta protecção acresce a protecção conferida pelo respectivo sistema de pintura aplicado. Também os FIGRA's registados apresentam um andamento semelhante entre si, em consequência do desenvolvimento da taxa de libertação de calor, de acordo com a definição do respectivo parâmetro (Figura IV. 30c).

Ainda mais interessante, é o facto do provete CLP5 apresentar um comportamento distinto dos restantes sistemas de protecção ensaiados com idênticas condições do substrato. O CLP5 regista o pico máximo de libertação de calor cerca de 50 s após o início do período de exposição, quando os restantes sistemas, bem como o correspondente testemunho, ainda não tinham sequer registado uma oscilação significativa na taxa de libertação de calor. Após atingir o pico, a libertação de calor decresce e mantém-se próximo de 0 durante o restante tempo de ensaio (Figura IV. 30a). Nota-se que o CLP5 libertou menos 73 % de calor que o CLP1 (provete que registou o valor imediatamente acima) (Figura IV. 30b).

Não obstante, o valor registado no parâmetro de avaliação FIGRA no CLP5 é superior ao CLP4, CLP1 e CLP0, em 55 %, 70 % e 6%, respectivamente, em virtude do pico de libertação de calor ter ocorrido decorridos apenas 66 s desde o início do período de exposição (Figura IV. 30c). Destaca-se o facto de ter sido o único provete a não registar FIGRA, decorrente de uma libertação inferior a 0,4 MJ de calor.

Também na produção de fumo, os provetes CLP0, CLP1 e CLP4 demonstram um andamento similar entre si e distinto do CLP5, que regista a menor produção de fumo dos provetes ensaiados, menos 60 % que o CLP4 (provete que registou o valor imediatamente acima), a uma taxa praticamente constante, não registando SMOGRA (Figura IV. 31).

A taxa de produção de fumo, nos instantes iniciais de ensaio, é ligeiramente superior nos provetes protegidos com revestimentos retardadores de combustão, comparativamente com o CLP0, invertendo-se esta tendência entre os 550 s e os 600 s do período de exposição, com um aumento significativo (Figura IV. 31a). Registaram-se valores de SMOGRA's apenas nos provetes CLP0 (aos 624 s) e CLP1 (aos 801 s) (Figura IV. 31c). Assim, à semelhança dos resultados do ensaio do painel radiante (exceptuando os provetes com produto oleoso), os provetes com produtos de protecção ao fogo produzem mais fumo, antes da fase em que os correspondentes provetes não protegidos ultrapassam os referidos valores.

Importa dizer que, a formação da camada intumescente do sistema P5 ocorre mais cedo, e com uma eficácia superior à das restantes protecções, uma vez que liberta inferiores quantidades totais de calor; no entanto, o pico máximo é atingido mais cedo que nos restantes sistemas de protecção. Portanto, não obstante o valor de FIGRA registado, é evidente a capacidade superior do sistema de protecção P5 em isolar o substrato contra a acção do fogo (à semelhança das observações

da anterior campanha), uma vez que registou os mínimos de libertação total de calor e de produção total de fumo, de todos os provetes de ensaio. Acrescenta-se ainda, que a observação dos provetes após o ensaio de reacção ao fogo revela que o CLP5 é o único que não apresenta perda de material no encontro das abas, nem nas juntas entre tábuas, contrariamente ao CLP1 e CLP4 (Figuras B. 4 e 5, do Anexo B).

Apesar dos provetes CLP1 e CLP4 apresentarem andamentos algo similares, nos parâmetros avaliados no presente ensaio, o sistema de protecção P1 registou menos 45 % de calor libertado que o sistema P4, embora com um consumo húmido superior em 250 g/m². A par da libertação de calor superior do provete CLP4, registou-se um FIGRA também superior em 30 %, observado 132 s mais cedo (Figura IV. 30).

Relativamente à produção de fumo, o CLP4 registou menos 8 % do que o CLP1, não registando SMOGRA (Figura IV. 31), para uma massa volúmica superior em 18 %.

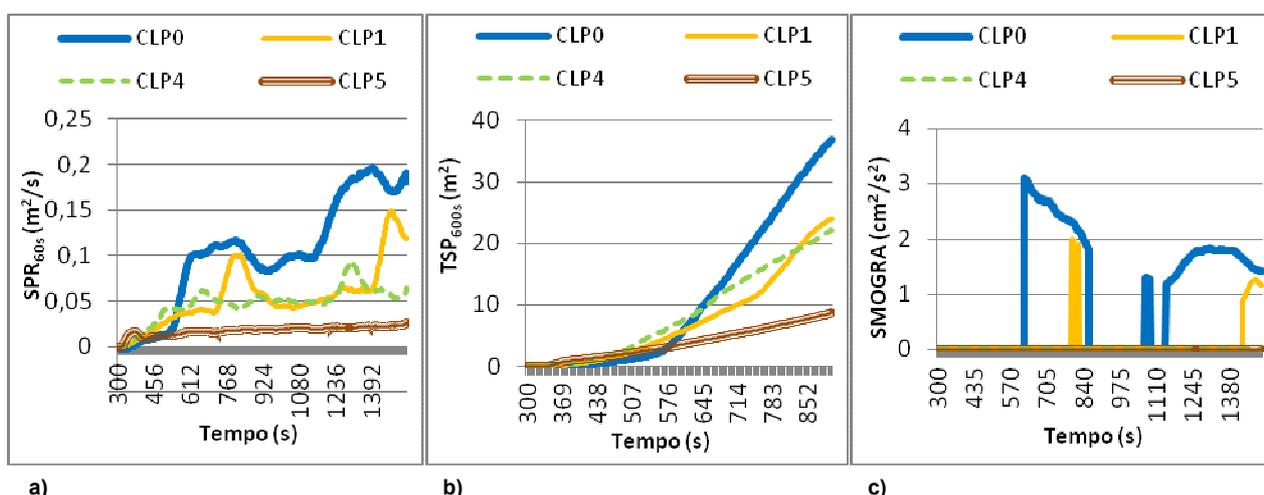


Figura IV. 31 Comportamento dos provetes sujeitos à remoção do produto oleoso superficial: a) Média deslizante dos valores medidos nos 60 s em torno do instante t (desde 30 s antes, até 30 s depois) da taxa de produção de fumo do provete, b) Produção total de fumo do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento de fumo

Conclusão: à semelhança do comportamento observado no ensaio do painel radiante, o sistema de protecção P1 apresenta um melhor desempenho em termos de reacção ao fogo, face ao sistema P4. Atendendo a que na anterior campanha se concluiu que o sistema P4, dos sistemas ensaiados, demonstra ser o mais sensível às diferenças do substrato, e observando-se na presente campanha, que tanto a libertação de calor, como a produção de fumo, reduziram expressivamente face ao correspondente testemunho, parece evidente que a aplicação do respectivo primário funcionou favoravelmente na protecção ao fogo.

Assim, face à análise efectuada relativa à madeira antiga danificada por caruncho, o sistema de protecção P5 apresenta um desempenho superior aos sistemas P1 e P4, tanto no efeito de retardador de combustão, como de isolante térmico. O facto de o pico de libertação de calor se verificar

nos instantes iniciais de exposição à fonte de calor pode suscitar algumas reservas no que se refere aos momentos iniciais de deflagração de um incêndio, no entanto, a libertação de calor é substancialmente inferior à verificada nas restantes pinturas de protecção.

C. Efeito da protecção ao fogo em madeira antiga com ataque por caruncho e com produto oleoso na superfície

À semelhança do que se observou no ensaio do painel radiante, a remoção do produto oleoso superficial é preferível à alternativa de não remoção, uma vez que a presença desse produto diminui o desempenho de reacção ao fogo da madeira. Contudo, quando tal não é possível, a aplicação dos sistemas de protecção ao fogo seleccionados aparentemente melhora o desempenho de reacção ao fogo, ainda que possa ficar aquém da referida alternativa (de remoção do produto oleoso superficial).

Refira-se ainda que, no ensaio do COP4, após os 600 s iniciais do período de exposição, verificou-se a queda da camada de protecção de lã de rocha da aba curta sobre o queimador principal, provocando o seu abafamento e a consequente extinção antes do fim do período de ensaio. Por esta razão, a partir dos 900 s não são apresentados os resultados obtidos, por não serem considerados fidedignos das condições de ensaio.

À semelhança dos provetes anteriormente analisados que receberam o sistema P5, o COP5 não foi excepção e mostrou um comportamento semelhante ao CLP5. O pico de libertação de calor foi alcançado cerca de 50 s após o início do período de exposição, libertando cerca de 60 % menos calor do que COP1 (provete que registou o valor imediatamente acima), decrescendo de seguida (Figura IV. 32a).

No entanto, o provete COP5 regista os valores máximos do parâmetro FIGRA - 60 % e 50 % para o $FIGRA_{0,2 MJ}$ e $FIGRA_{0,4 MJ}$, respectivamente, face ao provete COP0, que registou os valores imediatamente inferior, 126 s e 114 s, mais tarde (Figura IV. 32c).

O comportamento observado nos provetes que receberam o sistema de protecção P5, possivelmente advém da propagação imediata da chama, em altura, nos instantes iniciais de exposição ao queimador principal, reflexo da libertação de gases combustíveis e/ou do consumo da camada de verniz de acabamento. Uma observação detalhada dos provetes à posteriori (Anexo B, Figura B.5), denota zonas onde ocorreu a rotura da película, possivelmente fruto da formação da camada intumescente, facilitando a libertação de gases combustíveis que induziram a propagação instantânea da chama. Importa também referir que o processo de intumescência desenvolvido é dos mais acentuados, à semelhança do comportamento observado na campanha anterior. Conforme observado

no CLP5, o COP5 não sofreu ataque de fogo na contra face, nem perda de material, algo que é observável nos provetes CLP1 e CLP4.

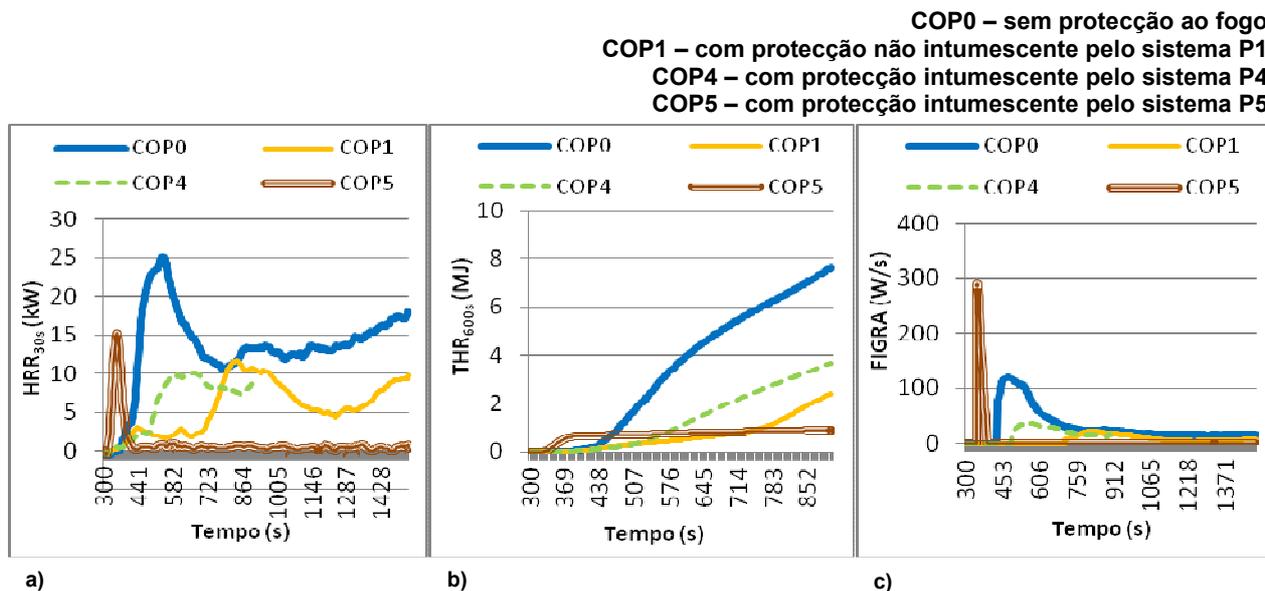


Figura IV. 32 Comportamento dos provetes com produto oleoso na superfície: a) Média deslizante dos valores medidos nos 30 s em torno do instante t (desde 15 s antes, até 15 s depois) da taxa de libertação de calor do provete, b) Calor total libertado do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento do fogo

Assim, por um lado os provetes CLP5 e COP5 registaram as menores libertações de calor, em resultado da elevada capacidade de isolamento térmico da camada intumescente, ao passo que por outro lado, alcançaram os maiores valores de FIGRA, reflexo de nos instantes iniciais de exposição ao queimador principal, se registarem os picos máximos alcançados pelos respectivos provetes.

Não obstante as observações efectuadas, importa também referir que os provetes protegidos com o sistema P5 registaram as menores produções de fumo, onde o COP5 foi o único provete do respectivo cenário a não registar SMOGRA (Figura IV. 33), com uma massa volúmica superior em 10 %, face aos restantes COPx.

A libertação total de calor pelo COP4 é 35 % superior à do COP1, à semelhança do comportamento observado no cenário CLPx da presente campanha (Figura IV. 32b). Também a produção de fumo é 30 % superior à do COP1 (Figura IV. 33b). Conforme observado no anterior cenário, confirma-se a eficácia resultante de incluir o primário no sistema P4, uma vez que este atenua a influência do produto oleoso presente ao nível do substrato, ainda que o desempenho ao fogo não consiga igualar o dos restantes sistemas de protecção aplicados. Refere-se que, aquando do ensaio, se notou que a aba comprida do provete COP1 estava ligeiramente empenada, não encostando completamente na zona do canto.

Refira-se, por último, que no correspondente cenário de ensaio do painel radiante o sistema de protecção P1 registou uma menor produção total de fumo (10 %), comparativamente com o P5, em 1800 s de ensaio, quando no ensaio do SBI foi o sistema de protecção P5 a registar a menor produção total de fumo (70 % inferior), face ao P1, em 600 s de ensaio. Atendendo que, a fórmula de cálculo do referido parâmetro difere entre os dois ensaios de reacção ao fogo, aliado ao facto de os provetes terem sido ensaiados em diferentes posições, e portanto, diferentes progressões do fenómeno de combustão, bem como a variabilidade natural associada a cada provete de ensaio, não parece ser significativo para efeitos de validação da opção de iniciar a campanha experimental pelo ensaio do painel radiante.

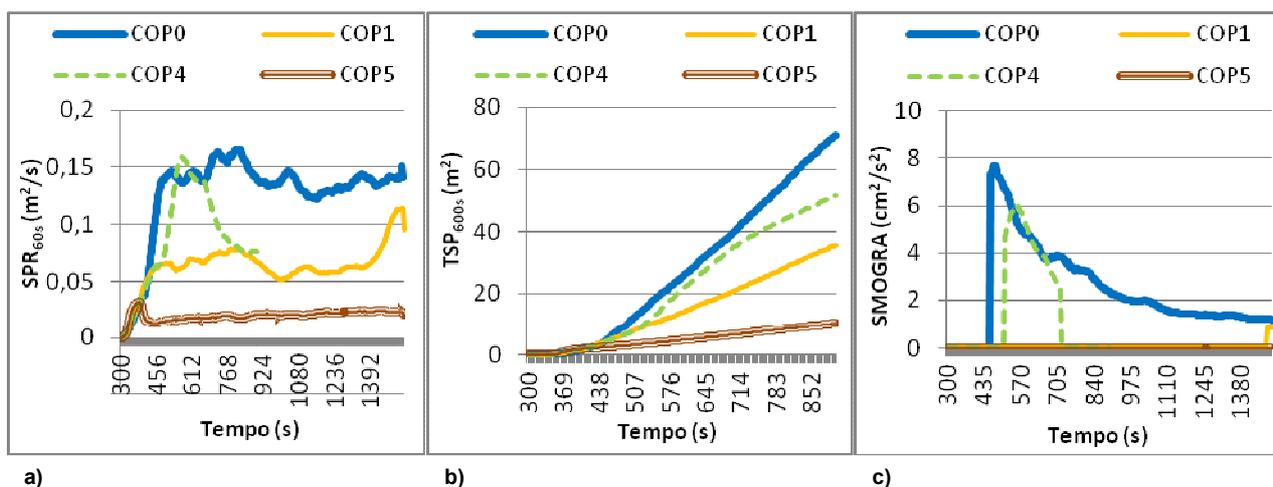


Figura IV. 33 Comportamento dos provetes com produto oleoso: a) Média deslizante dos valores medidos nos 60 s em torno do instante t (desde 30 s antes, até 30 s depois) da taxa de produção de fumo do provete, b) Produção total de fumo do provete nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal e c) Taxa de desenvolvimento de fumo

Conclusão: o comportamento observado no ensaio do painel radiante, verifica-se no presente cenário analisado: a presença do produto oleoso provoca uma redução do comportamento de reacção ao fogo; a aplicação dos revestimentos de protecção melhora esse comportamento; e, novamente, é o sistema de protecção P5 a mostrar um desempenho superior. O sistema de protecção P4, apesar do favorável comportamento demonstrado com a aplicação do respectivo primário, apresenta um desempenho inferior, face aos três sistemas de protecção ensaiados.

D. Apreciação geral da influência das condições do substrato ensaiadas no efeito da protecção ao fogo

É evidente que a aplicação dos revestimentos de protecção passiva melhora o desempenho face à acção do fogo – visível na Figura IV. 34. O sistema de protecção P5 é, além de mais eficaz, também mais versátil, na medida em que melhor se adequa às diferentes condições do substrato considerado no presente trabalho - conforme observado na anterior campanha. O sistema P1 apresentou

um desempenho ligeiramente inferior ao do P5, como retardador de combustão, à semelhança do observado no ensaio do painel radiante, nas situações de madeira antiga e danificada por caruncho. No entanto, o sistema P1 também tem um consumo 37 % inferior, tratando-se de um produto aplicado de forma isolada, com um menor custo por superfície protegida, de cerca de 87 % (Quadro A.12, Anexo A). Apesar do sistema de protecção P4 ter sido o que se revelou mais vulnerável às alterações das condições do substrato relativamente ao ideal, em ambos os ensaios de reacção ao fogo, no universo de Px ensaiados, a inclusão do primário no respectivo sistema de protecção revelou-se benéfica. Acrescenta-se que, embora consistindo num sistema de pintura (primário, subcapa com propriedades retardadoras de combustão e camada de acabamento), apresenta um custo por superfície protegida substancialmente inferior, comparativamente com os restantes sistemas com propriedades intumescentes, ainda que fruto de um consumo inferior. Portanto, o *rating* dos sistemas ensaiados em ambos os ensaios de reacção ao fogo realizados mantém-se, apesar das fontes de ataque serem distintas e das diferentes dimensões dos provetes de ensaio, entre outros factores que variaram.

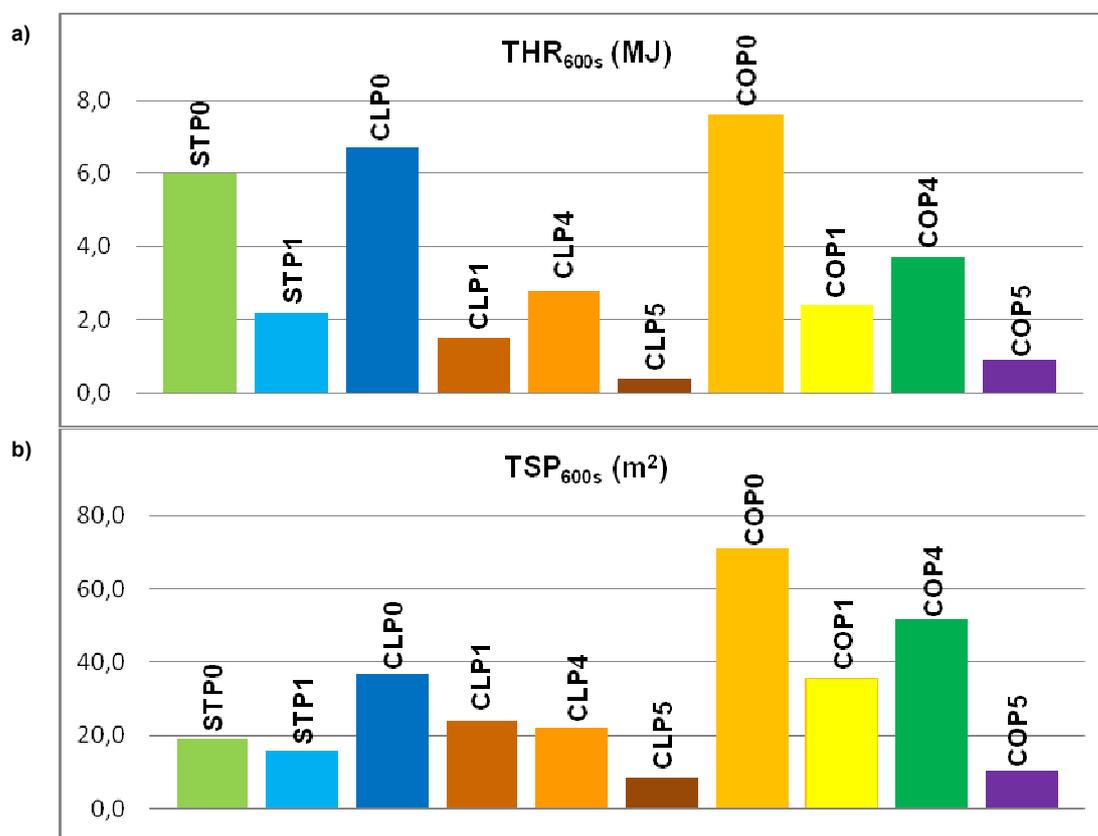


Figura IV. 34 Comportamento dos provetes nos primeiros 600 s de exposição ao queimador principal:
a) Calor total libertado e b) Produção total de fumo

Na Figura IV. 34b observa-se que as maiores produções de fumo estão associadas à presença do produto oleoso, no contexto de cada sistema de protecção. Contrariamente aos resultados observados no ensaio do painel radiante, no presente ensaio, face aos parâmetros avaliados,

parece haver uma certa relação entre a libertação de calor e a produção de fumo, conforme é visível na Figura IV. 34.

De acordo com Wladyka-Przybylak & Kozlowski (1999), que analisaram o comportamento de retardadores de combustão intumescentes com diferentes formulações químicas, submetendo durante 30 min, provetes de madeira de pinho bravo (*Pinus pinaster*, Ait) a um fluxo de calor de 35 kW/m² (segundo ASTM E1354-90 e ISO 5660-1, 2002) colocados na horizontal e com uma fonte externa de ignição, concluíram que, para determinadas composições químicas, consegue-se obter um melhor desempenho ao fogo, através da redução da taxa de libertação de calor, da libertação total de calor e do calor efectivo de combustão. Ainda que a intensidade da radiação seja distinta, bem como a orientação dos provetes de ensaio e o próprio ensaio em si, são notórios os efeitos similares demonstrados pelos retardadores de combustão intumescentes ensaiados, na medida em que permitem reduzir a libertação do calor resultante da combustão.

No referido trabalho (Wladyka-Przybylak & Kozlowski, 1999) também se observa que a variação da composição química ocasiona que, nalgumas situações, os máximos da taxa de libertação de calor ocorrem no início de ensaio, ao passo que, para outras composições químicas, já apresentam um atraso na taxa de libertação de calor, à semelhança dos comportamentos notados na presente campanha do ensaio do SBI.

É ainda sugerido por Wladyka-Przybylak & Kozlowski (1999) que, o desempenho ao fogo é conseguido devido às propriedades de isolamento térmico conferido pela expansão da camada intumescente. Complementa-se, com o facto dos provetes dos sistemas P4 e P5 apresentarem uma componente física de protecção, mais evidente nos provetes P5 que P4 (Figura IV. 35). Em contrapartida, os provetes do sistema P1 não apresentam qualquer tipo de componente física de protecção, o que está de acordo com o facto de ser um tratamento de impregnação (de superfície). Na verdade apenas se observa a camada de madeira carbonizada.

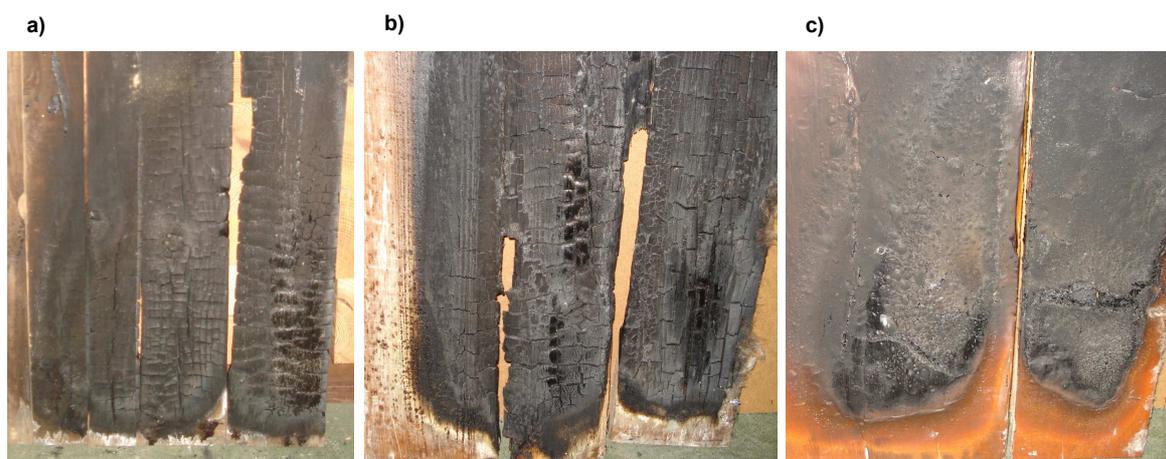


Figura IV. 35 “Zona de encontro” das abas dos provetes após ensaio do SBI: a) COP1, b) CLP4 e c) CLP5

É ainda referido por Wladyka-Przybylak & Kozlowski (1999) que, a composição química de um retardador de combustão intumescente tem um efeito essencial na taxa de formação de massa carbonizada, isto é, na taxa de perda de massa, que de acordo com as observações na anterior campanha do painel radiante, os provetes protegidos com as pinturas intumescentes, parecem evidenciar uma menor perda de secção por carbonização, conforme observado.

Num outro trabalho (Leisted, R.; Bengtsson, H. & Jomaas, G., 2011), também recorrendo ao ensaio do cone calorimétrico (ISO 5660-1, 2002), para fluxos de calor a variar entre 8 e 80 kW/m², foram avaliados dois retardadores de combustão, comercializados na Dinamarca, aplicados em aglomerados de madeira por pintura. As conclusões revelam que um dos retardadores de combustão ensaiados, conduz a uma melhoria significativa nos diferentes parâmetros avaliados: aumento do tempo de ignição, aumentando o fluxo crítico necessário para obter uma ignição substancial, e diminuição da taxa de libertação de energia, bem como do calor efectivo de combustão, face aos provetes não protegidos ao fogo. O outro retardador de combustão ensaiado, já apresenta pequenas ou nenhuma melhorias nas propriedades de protecção ao fogo, face aos provetes de aglomerados de madeira não protegidos. Assim, apesar das diferenças óbvias (substrato, retardadores de combustão, condições de ensaio), os resultados obtidos no presente trabalho confirmam o estudo citado, na medida em que também se observou uma alteração, em termos relativos, das propriedades de protecção ao fogo, com a aplicação de retardadores de combustão, que no entanto variam de produto para produto.

Os trabalhos mencionados sugerem que as propriedades de protecção ao fogo dependem, em grande parte, da composição química do(s) produto(s) em causa - vertente não abordada no presente trabalho experimental, pelo que seria uma continuação natural deste trabalho, abordar a composição química dos sistemas de protecção ensaiados.

IWS Ltd (2011) ensaiou produtos de madeira (contraplacado, OSB e aglomerado) ao fogo, através do ensaio do cone calorimétrico e do ensaio do SBI (EN 13823, 2010), protegidos por impregnação com IWS-FR system (do inglês *Intelligent Wood Systems – Fire Retardant*). As conclusões apresentadas manifestam que a aplicação do IWS-FR system induz uma redução da ignitabilidade, da propagação da chama (chamas deixam de avançar num menor intervalo de tempo), assim como a redução da perda de massa por carbonização, face à situação não protegida. É ainda referido que o calor gerado se reduz significativamente, fornecendo tempo extra aos utilizadores, numa situação última de deflagração de incêndio, para escaparem do local. Ainda que os substratos sejam diferentes, a técnica de aplicação, bem como os sistemas de protecção, face aos do trabalho experimental efectuado, assim como as condições de ensaio, ainda assim, são manifestas as semelhanças do comportamento demonstrado, pela aplicação de retardadores de combustão, do presente trabalho experimental, com as anteriores observações.

Concluída a análise dos resultados obtidos no ensaio do SBI, importa ter presente que há todo um conjunto de factores que podem ter influenciado, com maior ou menor peso, o desempenho de reacção ao fogo, como sejam: o próprio fabrico dos provetes (as ligações macho-fêmea, as dimensões definidas que nem sempre conseguiram ser respeitadas, a distribuição de defeitos da madeira e dos danos resultantes da anterior presença de caruncho); a montagem dos diferentes elementos de ensaio (encontro das duas abas e remate pela lã de rocha); as diferentes origens de substrato ensaiado; a maior ou menor retenção do produto oleoso contido nos provetes; o condicionamento dos provetes (distinto do estabelecido na norma de ensaio). Conforme já referido, as conclusões avançadas dizem respeito às condições de ensaio preconizadas na presente campanha.

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

V.1. Conclusões

O objectivo do estudo realizado consistiu em avaliar, experimentalmente, o efeito de revestimentos retardadores de combustão no desempenho de reacção ao fogo da madeira, usando substratos com deterioração biológica e tratamentos prévios. O comportamento e eficácia dos revestimentos intumescentes e não intumescentes (conhecidos como “ignífugos”), também foram analisados, atendendo aos possíveis riscos para os utentes durante os momentos iniciais da deflagração de um incêndio. Para tal, seleccionaram-se cinco soluções de protecção comercializadas no mercado nacional: dois produtos não intumescentes (um impregnante – P1 e um verniz – P2); um verniz intumescente (P3); dois sistemas de pintura, um com protecção intumescente (P4) e o outro que confere ambas as protecções, segundo a especificação técnica (P5).

As conclusões apresentadas baseiam-se, sobretudo, no trabalho experimental desenvolvido que, tendo em conta as limitações impostas (material disponível, disponibilidade do equipamento de ensaio, tempo e custo), envolveu o ensaio de um reduzido número de provetes para cada situação considerada, em troca da análise de um número de variáveis relativamente alargado. Resulta que, as conclusões são válidas para as condições de ensaio preconizadas e para os produtos ensaiados, devendo haver cautela na sua extrapolação.

A opção (exploratória) de iniciar a campanha experimental pelo ensaio do painel radiante foi legitimada pelo comportamento semelhante, observado tanto no ensaio do painel radiante como no do SBI, para as situações ensaiadas em ambos (presença do produto oleoso na superfície e protecção com os sistemas de pintura P1 e P5); bem como pelo *rating* dos sistemas ensaiados que se manteve entre os referidos ensaios de reacção ao fogo.

A aplicação dos revestimentos de protecção passiva contra o fogo reduz significativamente a reacção ao fogo da madeira, pela redução da propagação da chama, da libertação de calor, e do tempo de persistência da chama, necessitando de maiores fluxos de calor incidente para manter a inflamação. A produção total de fumo também diminui, ainda que, logo após o início do ataque da fonte de calor, os produtos parecem induzir uma maior produção.

Apesar de todos os revestimentos de protecção passiva ensaiados ocasionarem uma melhoria do comportamento de reacção ao fogo da madeira, uns mostraram-se mais sensíveis que outros às alterações das condições do substrato. Assim, de acordo com as condições do substrato presentes, deve-se adequar o revestimento com propriedades retardadoras de combustão a aplicar.

Relativamente às **condições do substrato**, a presença dos danos resultantes do ataque de caruncho teve um efeito negativo, embora pouco significativo, no desempenho de reacção ao fogo, supostamente em resultado do aumento da superfície específica. Maior efeito negativo parece ter a presença de tratamentos prévios de base orgânica, que estimulam o processo de degradação, associados a maiores produções de fumo.

É, portanto, notável a capacidade de protecção conferida pelos revestimentos ensaiados, na medida em que, mesmo na presença dos danos resultantes do ataque de caruncho, conjugado com a presença do insecticida ou do produto oleoso, o comportamento de reacção ao fogo melhora, face à não protecção.

Ainda assim, no caso de a madeira em serviço apresentar pintura por um produto oleoso, a sua remoção antes da protecção retardadora de combustão é preferível, uma vez que melhora ainda mais o seu desempenho face ao ataque do fogo, mesmo que seja aplicado um produto insecticida (de base não oleosa).

Assim, antes de se intervir na estrutura, deve-se fazer um levantamento do historial de possíveis tratamentos a que esta já possa ter sido submetida, que possam influenciar as propriedades de reacção ao fogo da madeira, eventualmente verificadas através do ensaio do calorímetro EN ISO 1716.

Posto isto, deve-se procurar a melhor solução do **revestimento retardador de combustão** a aplicar, assegurando um compromisso entre a eficácia e a eficiência. No caso dos produtos ensaiados, as melhores opções parecem ser as seguintes:

- ❖ **Madeira nova e sã (limpa)**: sistema de protecção P4 (sem primário)> P1> P3> P5> P2 sob o ponto de vista da propagação da chama; P4 (sem primário)> P1> P5> P2> P3 sob o ponto de vista da produção total de fumo;
- ❖ **Madeira antiga com ataque por caruncho e após remoção do produto oleoso superficial (limpa)**: sistema de protecção P5> P1> P4 (com primário) sob o ponto de vista da libertação total de calor; P5> P4 (com primário)> P1 sob o ponto de vista da produção total de fumo;
- ❖ **Madeira antiga com ataque por caruncho e após remoção do produto oleoso e com um produto preservador insecticida**: sistema de protecção P5> P3> P1> P2> P4 (sem primário) sob o ponto de vista da propagação da chama; P1> P5> P2> P3> P4 (sem primário) sob o ponto de vista da produção total de fumo;
- ❖ **Madeira antiga com ataque por caruncho e com produto oleoso na superfície**: sistema de protecção P5> P3> P1> P4 (sem primário)> P2 sob o ponto de vista da propagação da chama; P5> P1> P4 (com primário) sob o ponto de vista da libertação total de calor; P1> P5> P4 (sem primário)> P2> P3 sob o ponto de vista da produção total de fumo, segundo o ensaio do painel radiante e, P5> P1> P4 (com primário), segundo o ensaio do SBI.

Acrescenta-se que o custo estimado de aplicação dos produtos tratados, por m² de madeira protegida (excluindo a mão-de-obra) foi o seguinte: P1 – 2,6 €/m²; P2 – 3,5 €/m²; P3 – 24,9 €/m²; P4 - 8,5 €/m² (com a aplicação do primário); P5 – 19,9 €/m².

Portanto, observa-se que as melhores opções passam por aplicar sistemas de pintura, possivelmente sistemas mistos (conferindo protecção intumescente e não intumescente) uma vez que tendem a revelar-se multifacetados.

Os sistemas de revestimento de protecção passiva mais complexos (primário, subcapa com propriedades retardadoras de combustão e camada de acabamento) protegem a madeira da acção do fogo, de forma mais independente das condições do substrato, uma vez que as várias camadas parecem ter modos diferentes de actuação.

Observou-se que, naqueles sistemas que prevêem a aplicação de um primário (P4, por exemplo), a sua eliminação pode conduzir efectivamente a uma perda de eficácia, possivelmente em resultado do produto intumescente ser parcialmente absorvido pela madeira, resultando numa camada intumescente com menor espessura.

Os revestimentos intumescentes, além de maior tempo de mão-de-obra, parecem implicar maiores consumos húmidos, aliados a maiores custos por superfície protegida.

No entanto, salienta-se que um dos produtos não intumescentes (P1), com um custo de produto consumido de cerca de 1/10 do produto P5, apresenta um bom desempenho global.

Sugere-se que, face às dificuldades observadas ao longo do trabalho em diferenciar a forma de actuação dos revestimentos intumescentes dos não intumescentes e, portanto, a sua classificação, poderá ser mais adequado e esclarecedor optar pela subdivisão dos revestimentos não intumescentes, em tratamentos de impregnação de superfície e em sistemas de camada de encapsulamento, conforme definido na ETAG 028 (2009), no contexto de classificação da forma de actuação dos revestimentos de superfície. No entanto, os dois sistemas ensaiados, apresentados como não intumescentes pelos fabricantes (P1 e P2), foram considerados como sendo tratamentos de impregnação de superfície mas, observou-se que, apresentam comportamentos distintos entre si. Assim, considera-se que mesmo a divisão apresentada pela ETAG 028 (2009) pode em certos casos ser de difícil aplicação.

As pinturas intumescentes mostraram maior capacidade de protecção da madeira relativamente à perda de secção por carbonização. Assim, nas situações em que se pretende garantir um adequado isolamento térmico da madeira no interior das secções estruturais, poderá ser preferível optar por pinturas com propriedades intumescentes.

V.2. Perspectivas de desenvolvimento futuro

Claramente que o trabalho desenvolvido é uma porta aberta para futuros trabalhos na área da protecção passiva ao fogo através de revestimentos superficiais, designadamente ao nível da reabilitação de elementos de madeira, considerando-se como aspectos essenciais para futura análise:

- ❖ A avaliação da composição química dos vários sistemas de protecção ensaiados, na medida em que esta poderá ser uma via para relacionar o seu comportamento e eficácia com a sua composição;
- ❖ A avaliação da durabilidade dos sistemas ensaiados, nomeadamente os que apresentaram um desempenho favorável, submetendo-os a ensaios de envelhecimento (face a agentes ambientais) e, posteriormente, a ensaios de reacção ao fogo, para perceber se as protecções a longo prazo são viáveis;
- ❖ Ainda no seguimento dos estudos de durabilidade dos sistemas de protecção, seria interessante avaliar a durabilidade destes sistemas a acções de limpeza e de manutenção das superfícies onde são aplicados;
- ❖ Seria interessante testar o sistema P1 associado a um produto com propriedades intumescentes (possivelmente criando sinergias), atendendo aos desempenhos favoráveis demonstrados nas condições do substrato considerado;
- ❖ Poderia ser testado o aumento do consumo húmido do sistema de pintura P4 (ou uma menor diluição), tendo em vista melhorar a sua eficiência quando aplicado sobre substratos diferentes dos ideais (madeira limpa e sã), atendendo ao custo por superfície protegida e ao consumo húmido reduzido;
- ❖ Seria interessante avaliar a eficiência das pinturas intumescentes ensaiadas, sob o ponto de vista de uma possível alteração da resistência ao fogo de elementos estruturais de madeira protegidos;
- ❖ Analisar a classificação quanto à forma de actuação de mais produtos não intumescentes (apresentados como “ignífugos” no mercado), com base na subdivisão expressa na ETAG 028 (2009);
- ❖ Por fim, estender o estudo a mais produtos, a mais insecticidas, a outras espécies de madeira, para um maior número de réplicas de cada ensaio.

CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**A. Publicações**

Anastácio, R. (2010). *Especificação de protecção fogo para estruturas de madeira*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.

Anthony, R. W.; Drerup, M. J. (2011). *Investigation of the role of fire retardant treatment in the failure of wooden trusses*. SHATIS'11 International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures. Lisbon.

Browne, F. L. (1958). *Theories of the combustion of wood and its control - a survey of the literature*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Rep. No. 2136, 69 pp.

Buchanan, A. H. (2000). *Fire performance of timber construction*. Prog. Struct. Engng Mater, 2, 278-289 pp.

Castro, C. F.; Abrantes, J. B. (2009). *Manual de segurança contra incêndio em edifícios*. Escola Nacional de Bombeiros. 464 pp.

Chuang, C. S.; Tsai, K. C.; Wang, Y. C.; Wang M. K.; Ko, C. H. (2010). *Impact of wetting and drying cycle treatment of intumescent coatings on the fire performance of thin painted red lauan (Parashorea sp.) plywood*. The Japan Wood Research Society, 56, 208–215 pp.

Coelho, A. L. (2008). *Conversas*. Construção Magazine, 27, 4-7 pp.

Coelho, A. L. (2010). *Incêndios em edifícios*. Edições Orion. Alfragide. 754 pp.

Costa, F. (2009). *Tipificação de soluções de reabilitação de pavimentos estruturais em madeira em edifícios antigos*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.

Cruz, H. (2012). *Inspecção e monitorização de estruturas de madeira*. Seminário - Coberturas em madeira. Guimarães. 43-54 pp.

Cruz, H.; Nunes, L. (2007). *A madeira como material de construção*. LNEC. Lisboa. 26 pp.

D'orazio, M. C.; Corcione, M.; Fontana, L. (2007). *Experimental characterization of the thermal behavior of intumescent paints*. 4th WSEAS International Conference on Heat and Mass Transfer. Queensland, Australia. 17-19 pp.

Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro. *Regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios (SCIE)*. Diário da República nº220 I SÉRIE.

ETAG 028. (2009). *Guideline for european technical approval of fire retardant products*. Kunstlaan 40 Avenue des Arts. B - 1040 Brussels.

EN 13238. (2010). *Reaction to fire tests for building products - Conditioning procedures and general rules for selection of substrates*. CEN. Brussels.

EN 13501-1. (2007). *Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests*. CEN. Brussels.

EN 13823. (2010). *Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item*. CEN. Brussels.

EN ISO 1995-1-2. (2010). *Eurocode 5 - Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design*. CEN. Brussels.

EN ISO 2808. (2007). *Paints and varnishes - Determination of film thickness*. CEN. Brussels.

EN ISO 9239-1. (2010). *Reaction to fire tests for floorings - Part 1: Determination of the burning behaviour using a radiant heat source*. CEN. Brussels.

Figueroa, M. J. M.; Moraes, P. D. de. (2009). *Comportamento da madeira a temperaturas elevadas*. Ambiente Construído, Vol. 9, No. 4, 157-174 pp.

Friquin, K. L. (2010). *Material properties and external factors influencing the charring rate of solid wood and glue-laminated timber*. Fire and Materials. DOI: 10.1002/fam.1055.

Gaspar, F. (2006). *Estruturas de madeira lamelada-colada - Viabilidade da utilização de madeira de pinho bravo tratada com produto preservador*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Construção. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

Hakkarainen, T.; Mikkola, E.; Östman, B.; Brumer, H.; Piispanen, P. (2005). *Innovative eco-efficient high fire performance wood products for demanding applications. State of the art*. Report for Vinnova-Tekes project InnoFireWood. Sweden. 47 pp.

Harada, T.; Matsunaga, H.; Kataoka, Y.; Kiguchi, M.; Matsumura, J. (2009). *Weatherability and combustibility of fire retardant impregnated wood after accelerated weathering tests*. The Japan Wood Research Society, 55, 359–366 pp.

- Holmes, C. A. (1977). *Effect of fire-retardant treatments on performance properties of wood*. Goldstein, I.S., ed. Wood technology: chemical aspects. Proceedings, ACS symposium series 43. Washington, DC: American Chemical Society. 82-106 pp.
- IWS Ltd. (2011). *Enhanced fire resistance during construction - IWS-FR system for timber frame - Interim report*. Intelligent Wood Systems Ltd. Glenrothes. 35 pp.
- Lebow, S. T.; Winandy, J. E. (1999). *Effect of fire retardant treatment on plywood pH and the relationship of pH to strength properties*. Wood Science and Technology, 33, 285-298 pp.
- Leisted, R.; Bengtsson, H.; Jomaas, G. (2011). *Experimental study of the effects of flame retardants applied to chipboard*. Bachelor Thesis. Technical University of Denmark. Lyngby.
- Levan, S. L.; Holmes, C. A. (1986). *Effectiveness of fire retardant treatments for shingles after 10 years of outdoor weathering*. Res. Pap. FPL 474. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 15 pp.
- Levan, S. L.; Tran, H. C. (1990). *The role of boron in flame-retardant treatments*. Hamel, M., ed. Proceedings 47355, 1st international conference on wood protection with diffusible preservatives. Nashville, TN. Madison, WI: Forest Products Research Society. 39-41 pp.
- Levan, S. L.; Winandy, J. E. (1990). *Effects of fire retardant treatments on wood strength: a review*. Wood and Fiber Science 22(1), 113-131 pp.
- Lopes, D. B. (2005). *Ligações de madeira - comportamento face ao fogo*. Engenharia e Vida. Loja da Imagem, No.19, 42-45 pp.
- Lopes, D. B. (2006). *Madeiras e derivados: produtos retardantes ao fogo*. Engenharia e Vida. Loja da Imagem, No.20, Janeiro, 54-56 pp.
- Luneva, N. K.; Petrovskaya, L. I. (2008). *Performance of intumescent fire retardant for wood*. Russian Journal of Applied Chemistry, Vol. 81, No.4, 704-707 pp.
- Machado, J. S.; Dias, A.; Cruz, H.; Custódio, J.; Palma, P. (2009). *Avaliação, conservação e reforço de estruturas de madeira*. Verlag Dashofer. Lisboa. 154 pp.
- Marney, D. C. O.; Russell, L. J. (2008). *Combined fire retardant and wood preservative treatments for outdoor wood applications - A review of the literature*. Springer Science+Business Media, LLC. Fire Technology, 44, 1-14 pp.
- Mikkola, E. (2004). *Review of reaction to fire performance of wood based products*. 8th World Conference on Timber Engineering. Finland. Vol. II, 325-330 pp.
- NP 614. (1973). *Madeiras - Determinação do teor em água*. IPQ. Lisboa.

Östman, B. A.-L.; Mikkola, E. (2006). *European classes for the reaction to fire performance of wood products*. Holz als Roh- und Werkstoff, 64, 327–337 pp.

Östman, B. A.-L.; Mikkola, E. (2010). *European classes for the reaction to fire performance of wood-based panels*. Fire and Materials. DOI: 10.1002/fam.1054.

Östman, B.; Tsantaridis, L.; Mikkola, E.; Hakkarainen, T.; Belloni, K.; Brumer, H.; Piispanen, P. (2006). *Innovative eco-efficient high fire performance wood products for demanding applications*. Final report for Vinnova-Tekes project InnoFireWood. Sweden. SP REPORT 2006:30. ISBN 91-85533-15-7. 94 pp.

Östman, B.; Voss, A.; Hughes, A.; Hovde, P. J.; Grexa, O. (2001). *Durability of fire retardant treated wood products at humid and exterior conditions - review of literature*. Fire and Materials, 25, 95-104 pp.

Pinto, E. M.; Junior, C. C. (2006). *Estudo teórico e experimental sobre a degradação térmica e os gradientes térmicos da madeira de eucalyptus de uso estrutural exposta ao fogo*. Revista Minerva, 3(2), 131-142 pp.

Poon, L.; England, J. P. (2010). *Literature review on the contribution of fire resistant timber construction to heat release rate*. Timber Development Association. Surry Hills, NSW. WFRA Project No. 20633, Version 2b, 78 pp.

Portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro. *Regulamento técnico de segurança contra incêndio em edifícios*. Diário da República nº250, I SÉRIE.

prEN 15912. (2009). *Durability of reaction to fire performances - classes of fire retardant treated wood-based product in interior and exterior end use applications*. CEN. Brussels.

Qu, H.; Wu, W.; Wu, H.; Jiao, Y.; Xu, J. (2010). *Thermal degradation and fire performance of wood treated with various inorganic salts*. Fire and Materials. DOI: 10.1002/fam.1075.

Russell, L. J.; Marney, D.C.O.; Humphrey, D.G.; Hunt, A.C.; Dowling, V.P.; Cookson, L.J. (2007). *Combining fire retardant and preservative systems for timber products in exposed applications – state of the art review*. Forest and Wood Products, Research and Development Corporation. Australian. PN04.2007, 33 pp.

Sampaio, J. (2008). *Ensaios de reacção ao fogo - Manual de formação*. LNEC/LERF. Lisboa. 72 pp.

Santos, C. A. (2011). *A Classificação Europeia de Reacção ao Fogo dos Produtos de Construção*. LNEC Edifícios - ITE 55. Lisboa. 39 pp.

Still, M. R.; Levan, S. L.; Shuffleton, J. D. (1991). *Degradation of fire retardant treated plywood: current theories and approaches*. International Symposium on Roofing Technology. Gaithersburg. 517-522 pp.

Sweet, M. S. (1993). *Fire performance of wood: test methods and fire retardant treatments*. Recent advances in flame retardancy of polymeric materials. Proceedings of the 4th annual BCC conference on flame retardancy. Stamford, CT. Norwalk, CT. 36-43 pp.

Wade, C. A.; Callaghan, S. J.; Strickland, G. S.; Bennett, A. F. (2001). *Investigation of methods and protocols for regulating the fire performance of materials with applied fire retardant surface coatings*. Project Report, FCRC PR 01-01. FCRC Project 2 B-3, Fire Performance of Materials. Fire Code Reform Centre Limited. Australia. 72 pp.

Wen-li, T.; Yi-qiang, W.; Wen-xi, P.; Yun-chu, H. (2009). *Study on Low-toxicity fire retardant treated technology of wood*. IEEE Advancing Technology for Humanity, 978-1-4244-2902, 5 pp.

White, R. H.; Dietenberger, M. A. (1999). *Wood handbook, Chapter 17: Fire safety*. General technical report FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 7-1 - 17-13 pp.

White, R. H.; Dietenberger, M. A. (2010). *Wood handbook, Chapter 18: Fire safety of wood construction*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 18-1 - 18-22 pp.

White, R. H.; Dietenberger, M. A. (2001). *Wood products: Thermal degradation and fire*. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 0-08-0431526, 9712-9716 pp.

White, R. H.; Sweet, M. S. (1992). *Flame retardancy of wood: present status, recent problems, and future fields*. Recent Advances in Flame Retardancy of Polymeric Materials. Proceedings of 3rd Annual BCC Conference on Flame Retardance. Stamford, CT. Norwalk, CT. 250-257 pp.

Winandy, J. E. (1995). *Effects of fire retardant treatments after 18 months of exposure at 150°F (66°C)*. Res. Note FPL–RN–0264. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 13 pp.

Winandy, J. E.; Ross, R. J.; Levan, S. L. (1991). *Fire retardant treated wood: research at the Florest Products Laboratory*. International Timber Engineering Conference. London. Vol.4, 69-74 pp.

Wladyka-Przybylak, M.; Kozłowski, R. (1999). *The thermal characteristics of different intumescent coatings*. Fire and Materials, 23, 33-43 pp.

B. Referências online

<http://www.barbot.pt/>, Barbot (acedido em 12 de Abril de 2011).

<http://www.cin.pt/>, Cin (acedido em 12 de Abril de 2011).

<http://www.rikor.pt/>, Rikor (acedido em 12 de Abril de 2011).

<http://www.flameguard.nl/>, Flame Guard (acedido em 12 de Abril de 2011).

<http://www.tintaskar.com.pt/>, tintas Kar (acedido em 12 de Abril de 2011).

<http://www.matesica.com/>, Matesica (acedido em 12 de Abril de 2011).

<http://www.robbialac.pt/>, Robbialac (acedido em 12 de Abril de 2011).

<http://www.teprocil.com/>, Teproci (acedido em 12 de Abril de 2011).

<http://www.titanlux.pt/>, Titan (acedido em 12 de Abril de 2011).

<http://www.twbrazil.com.br/>, Twbrazil (acedido em 20 de Abril de 2011).

<http://www.ctmt.pt/>, CTMT – Centro Técnico de Madeiras Tratadas (acedido em 20 de Abril de 2011).

<http://www.meteoprog.com.pt/>, Meteoprog (acedido em 24 de Agosto de 2011).

http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/documents/essential-requirements/safety-in-case-of-fire_en.htm, European Commission (acedido em 25 de Abril de 2012).

ANEXO A

PREPARAÇÃO DOS PROVETES DE ENSAIO

Quadro A. 1 Teor em água das sobras resultantes do fabrico dos provetes da campanha do ensaio do painel radiante

Provete	Massa		Teor em água (%)	
	Húmida (g)	Seca (g)	Valor individual	Média
A	312,6	276,0	13,3	12,9
	303,7	269,8	12,6	
B	272,3	241,3	12,8	12,2
	377,8	338,9	11,5	
C	305,2	270,1	13,0	13,0
D	257,3	228,8	12,5	12,7
	267,2	236,5	13,0	
	250,0	222,2	12,5	
	289,9	256,4	13,0	
E	391,9	352,3	11,3	12,4
	318,1	283,5	12,2	
	494,3	437,6	13,0	
	315,5	280,7	12,4	
	341,2	302,1	13,0	
F	392,6	349,0	12,5	12,5
H	287,5	254,9	12,8	12,5
	269,7	240,3	12,2	
Média			12,6	
Desvio padrão			0,5	

Quadro A. 2 Teor em água das sobras resultantes do fabrico dos provetes da campanha do ensaio do objecto isolado em combustão (SBI)

Provete	Massa		Teor em água (%)
	Húmida (g)	Seca (g)	
A	148,6	129,8	14,4
B	76,0	66,3	14,6
C	132,3	116,3	13,8
D	186,3	166,6	11,8
E	201,0	175,1	14,8
F	96,6	84,4	14,5
G	213,7	188,4	13,4
H	428,4	372,7	14,9
I	84,1	74,9	12,3
J	83,9	74,7	12,3
L	120,8	107,4	12,4
M	125,1	111,3	12,5
N	536,2	478,1	12,1
O	417,5	370,8	12,6
P	351,7	313,7	12,1
Q	338,5	301,1	12,4
R	403,0	358,7	12,4
S	455,7	408,5	11,5
T	586,4	526,7	11,3
U	416,7	372,2	11,9
Média			12,4
Desvio padrão			1,1

REACÇÃO AO FOGO DE MADEIRA ANTIGA PROTEGIDA COM REVESTIMENTOS RETARDADORES DE COMBUSTÃO

Quadro A. 3 Esquema de pintura do insecticida usado na campanha do ensaio do painel radiante

Insecticida									
Produto	Tipo de protecção aos agentes biológicos	Solvente	Massa volúmica (kg/l)	Processo de aplicação	Nº de demãos	Consumo h (g/m ²)	Diluição	Tempo de secagem entre demãos (h)	Lixagem intermédia
Preparação da superfície: seca, limpa e isenta de gorduras.									
Preservador	Preventivo	Orgânico	0,79	Trincha	3	474	90%Insecticida 10%Diluyente	aplicar antes da secagem da anterior	-

Quadro A. 4 Esquema de pintura do sistema de protecção P1 usado na campanha experimental

P1									
Produto	Tipo de protecção ao fogo	Solvente	Massa volúmica (kg/l)	Processo de aplicação	Nº de demãos	Consumo (g/m ²)	Diluição	Tempo de secagem entre demãos (h)	Lixagem intermédia
Preparação da superfície: seca, limpa e isenta de gorduras.									
Impregnante	Não intumescente	Aquoso	1,15	Trincha	1	725	-	-	-

Quadro A. 5 Esquema de pintura do sistema de protecção P2 usado na campanha do ensaio do painel radiante

P2									
Produto	Tipo de protecção ao fogo	Solvente	Massa volúmica (kg/l)	Processo de aplicação	Nº de demãos	Consumo (g/m ²)	Diluição	Tempo de secagem entre demãos (h)	Lixagem intermédia
Condições de aplicação: máx 10% de TH.									
Preparação da superfície: seca, limpa e isenta de gorduras.									
Verniz	Não intumescente	Aquoso	1,17	Trincha	2	291	-	5	Lixa fina

Quadro A. 6 Esquema de pintura do sistema de protecção P3 usado na campanha do ensaio do painel radiante

P3									
Produto	Tipo de protecção ao fogo	Solvente	Massa volúmica (kg/l)	Processo de aplicação	Nº de demãos	Consumo (g/m ²)	Diluição	Tempo de secagem entre demãos (h)	Lixagem intermédia
Condições de aplicação: 5 - 40°C; máx 85% de HR.									
Preparação da superfície: seca, limpa e consistente.									
Verniz	Intumescente	Orgânico	1,08	Trincha	4	1072	90%Verniz 10%Diluyente	24	Lixa fina

Quadro A. 7 Esquema de pintura do sistema de protecção P4 usado na campanha experimental

P4									
Produto	Tipo de protecção ao fogo	Solvente	Massa volúmica (kg/l)	Processo de aplicação	Nº de demãos	Consumo (g/m ²)	Diluição	Tempo de secagem entre aplicações (h)	Lixagem intermédia
Condições de aplicação: mín 10°C; máx 70% de HR; máx 15% de TH.									
Preparação da superfície: seca, limpa, isenta de gordura e desempoeirada.									
Primário ⁽¹⁾	-	Aquoso	1,15	Trincha	1	100	-	24	Lixa fina
Verniz	Intumescente	Aquoso	1,30	Trincha	1	300	90% Verniz 10% Água	24	-
Verniz	-	Orgânico	0,98	Trincha	1	75	90% Verniz 10% Diluente	-	-

⁽¹⁾ Aplicado apenas na campanha de ensaio do SBI.

Quadro A. 8 Esquema de pintura do sistema de protecção P5 usado na campanha experimental

P5									
Produto	Tipo de protecção ao fogo	Solvente	Massa volúmica (kg/l)	Processo de aplicação	Nº de demãos	Consumo (g/m ²)	Diluição	Tempo de secagem entre demãos (h)	Lixagem intermédia
Condições de aplicação: ar livre ou área bem ventilada; 20°C; máx 60% de HR.									
Preparação da superfície: seca, limpa e desempoeirada.									
Primário	-	Orgânico	1,09	Trincha	2	300	90% Tapa poros 10% Diluente	8	-
Verniz	Intumescente	Orgânico	1,39	Trincha	3	750	85% Verniz 15% Diluente	24	-
Verniz	-	Aquoso	0,93	Trincha	1	93	-	-	-

REACÇÃO AO FOGO DE MADEIRA ANTIGA PROTEGIDA COM REVESTIMENTOS
RETARDADORES DE COMBUSTÃO

Quadro A. 9 Medições para obter a massa volúmica dos provetes da campanha do ensaio do painel radiante

Provete	Comprimento (m)	Largura (m)	Espessura (m)			Média	Volume (m ³)	Massa (kg)	Massa volúmica (kg/m ³)
			Valores individuais						
SLP0'	1,0	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	2,1	456,8
			0,02	0,02	0,02				
SLP0''	1,0	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	2,1	444,6
			0,02	0,02	0,02				
SIP0	1,0	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	2,6	470,3
			0,02	0,02	0,02				
STP0	1,1	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,006	3,6	609,6
			0,03	0,03	0,02				
CLP0'	1,1	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	2,4	478,5
			0,02	0,02	0,02				
CLP0''	1,0	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	2,3	433,2
			0,02	0,03	0,02				
CIP0	1,1	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,006	2,7	480,2
			0,02	0,02	0,02				
COP0	1,1	0,2	0,03	0,02	0,02	0,02	0,006	2,7	472,2
			0,02	0,02	0,03				
SLP1	1,0	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	2,9	540,5
			0,02	0,02	0,02				
CIP1	1,0	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	2,3	435,2
			0,02	0,02	0,02				
COP1	1,1	0,2	0,02	0,03	0,02	0,02	0,006	2,7	482,3
			0,02	0,03	0,02				
SLP2	1,0	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	2,5	473,1
			0,02	0,02	0,03				
CIP2	1,1	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	2,6	485,2
			0,02	0,02	0,02				
COP2	1,1	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	2,5	495,9
			0,02	0,02	0,02				
SLP3	1,0	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,006	2,8	513,1
			0,02	0,02	0,02				
CIP3	1,1	0,2	0,03	0,02	0,02	0,02	0,006	3,0	520,9
			0,03	0,02	0,02				
COP3	1,1	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,006	2,9	497,1
			0,03	0,03	0,03				
SLP4	1,0	0,2	0,03	0,02	0,02	0,02	0,006	2,7	484,3
			0,03	0,02	0,02				
CIP4	1,1	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,006	2,8	502,8
			0,02	0,02	0,03				
COP4	1,1	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	2,7	489,7
			0,02	0,02	0,02				
SLP5	1,0	0,2	0,02	0,02	0,03	0,02	0,005	2,8	524,6
			0,02	0,02	0,02				
CIP5	1,1	0,2	0,02	0,03	0,02	0,02	0,006	2,8	493,6
			0,02	0,02	0,03				
COP5	1,1	0,2	0,02	0,03	0,02	0,02	0,006	3,3	560,7
			0,03	0,03	0,02				

Quadro A. 10 Medições para obter a massa volúmica dos testemunhos e dos provetes com protecção não intumescente (P1), da campanha do ensaio do SBI

Provete		Comprimento (m)		Largura (m)	Espessura (m)		Volume (m ³)	Massa (kg)	Massa volúmica (kg/m ³)		
		Valores individuais	Média		Valores individuais	Média					
CLP0	Aba comprida	1,2	1,2	0,45	0,03	0,03	0,02	0,013	7,3	583,2	
		1,2			0,02	0,02					
		1,2			0,02	0,02					
	Aba curta	1,2	1,2	0,15	0,03	0,03	0,03	0,005	2,9	626,3	
					0,02	0,03					
					0,03	0,03					
COP0	Aba comprida	1,2	1,0	1,0	0,45	0,03	0,02	0,02	0,011	4,9	438,1
		0,9	1,0			0,03	0,02				
		1				0,03	0,02				
	Aba curta	1,0	1,0	0,14	0,03	0,02	0,02	0,003	1,5	479,4	
					0,02	0,02					
					0,02	0,03					
STP0	Aba comprida	1,2	1,2	1,2	0,46	0,03	0,02	0,02	0,013	7,8	587,0
		1,2				0,03	0,02				
		1,2				0,02	0,02				
	Aba curta	1,2	1,2	0,13	0,03	0,03	0,03	0,004	2,4	624,4	
					0,03	0,03					
					0,02	0,03					
CLP1	Aba comprida	1,2	1,2	0,44	0,44	0,02	0,02	0,02	0,013	5,6	441,9
		1,2				0,02	0,02				
		1,2				0,02	0,02				
	Aba curta	1,2	1,2	0,15	0,03	0,02	0,02	0,004	2,4	571,1	
					0,02	0,02					
					0,02	0,03					
COP1	Aba comprida	1,0	0,9	1,0	0,45	0,03	0,03	0,03	0,011	5,3	463,6
		1,0	1,0			0,02	0,03				
		0,9				0,03	0,02				
	Aba curta	1,0	1,0	0,15	0,03	0,02	0,02	0,003	1,6	454,4	
					0,02	0,02					
					0,02	0,02					
STP1	Aba comprida	1,2	1,2	1,2	0,46	0,03	0,02	0,02	0,013	8,1	618,1
		1,2				0,02	0,02				
		1,2				0,02	0,02				
	Aba curta	1,2	1,2	0,13	0,03	0,03	0,03	0,004	2,4	649,3	
					0,03	0,03					
					0,03	0,03					

REACÇÃO AO FOGO DE MADEIRA ANTIGA PROTEGIDA COM REVESTIMENTOS
RETARDADORES DE COMBUSTÃO

Quadro A. 11 Medições para obter a massa volúmica dos provetes com protecção intumescente (P4 e P5), da campanha do ensaio do SBI

Provete		Comprimento (m)		Largura (m)	Espessura (m)		Volume (m ³)	Massa (kg)	Massa volúmica (kg/m ³)		
		Valores individuais	Média		Valores individuais	Média					
CLP4	Aba comprida	1,2		0,46	0,02	0,02	0,02	0,013	6,9	532,5	
		1,2			0,02	0,02					
		1,1			0,02	0,03					
	Aba curta	1,2		0,15	0,03	0,03	0,03	0,005	3,3	708,9	
COP4	Aba comprida	0,9	1,2	1,0	0,46	0,03	0,03	0,03	0,011	5,0	454,6
		1,0	1,2			0,03	0,03				
		0,9				0,02	0,03				
	Aba curta	1,0		0,14	0,03	0,03	0,02	0,003	1,6	463,7	
CLP5	Aba comprida	1,2		0,45	0,02	0,03	0,02	0,013	7,2	549,0	
		1,2			0,03	0,02					
		1,2			0,02	0,03					
	Aba curta	1,2		0,15	0,03	0,03	0,03	0,005	3,0	623,1	
COP5	Aba comprida	1,0	0,9	1,0	0,42	0,03	0,03	0,03	0,010	4,9	477,3
		1,2	1,0			0,03	0,02				
		1,0				0,03	0,03				
	Aba curta	0,8		0,15	0,03	0,03	0,03	0,003	1,7	541,9	
						0,02	0,03				

Quadro A. 12 Custos dos sistemas de pintura, usados no trabalho experimental

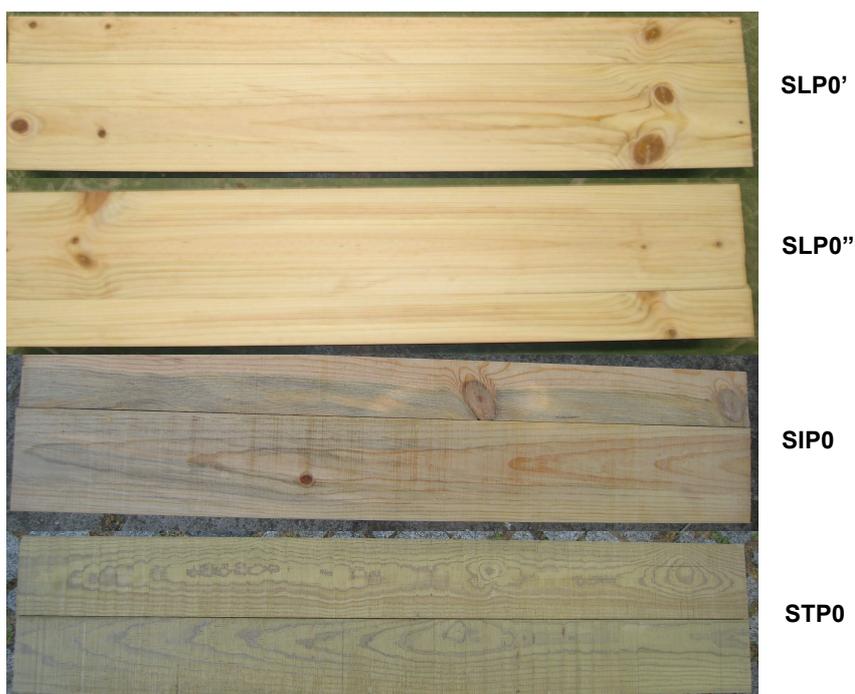
Sistema de pintura	Custo (€/L) ⁽¹⁾				Custo (€/m ²) ⁽¹⁾				
	Primário	Verniz RF	Verniz de acabamento	Diluyente	Primário	Verniz RF	Verniz de acabamento	Diluyente	Total
P1	-	4,0	-	-	-	2,6	-	-	2,6
P2	-	14,0	-	-	-	3,5	-	-	3,5
P3	-	26,1	-	13,6	-	23,3	-	1,7	24,9
P4	19,6 ⁽²⁾	25,7	20,2	3,5	1,8 ⁽²⁾	5,3	1,4	0,03	8,5
P5	18,8	27,2	17,5	6,6	4,6	12,5	1,8	1,1	19,9

⁽¹⁾ IVA não incluído.

⁽²⁾ Aplicado apenas na campanha de ensaio do SBI.

Quadro A. 13 Valores da espessura de filme dos provetes da campanha do ensaio do painel radiante

Provete	Método de corte da cunha (μm)						Método de Ultra-sons (μm)					
	Valores individuais					Média	Valores individuais					Média
SLP1	-	-	-	-	-	-	33	52	76	82	52	52
CIP1	-	-	-	-	-	-	41	27	76	33	33	33
COP1	-	-	-	-	-	-	79	71	82	76	93	79
SLP2	200	150	150	200	200	200	194	185	145	164	177	177
CIP2	300	200	250	250	250	250	221	243	166	218	177	218
COP2	150	100	100	150	150	150	161	155	175	164	155	161
SLP3	400	400	450	350	400	400	398	469	447	363	344	398
CIP3	500	500	400	450	500	500	499	461	412	535	395	461
COP3	400	400	300	450	400	400	346	393	434	409	360	393
SLP4	200	150	200	200	100	200	180	134	183	147	153	153
CIP4	150	200	150	200	200	200	267	166	158	207	194	194
COP4	100	150	200	100	150	150	153	164	188	166	243	166
SLP5	400	400	400	450	400	400	491	365	480	442	308	442
CIP5	450	350	400	400	350	400	330	384	477	354	319	354
COP5	300	350	350	350	400	350	335	395	385	368	360	368



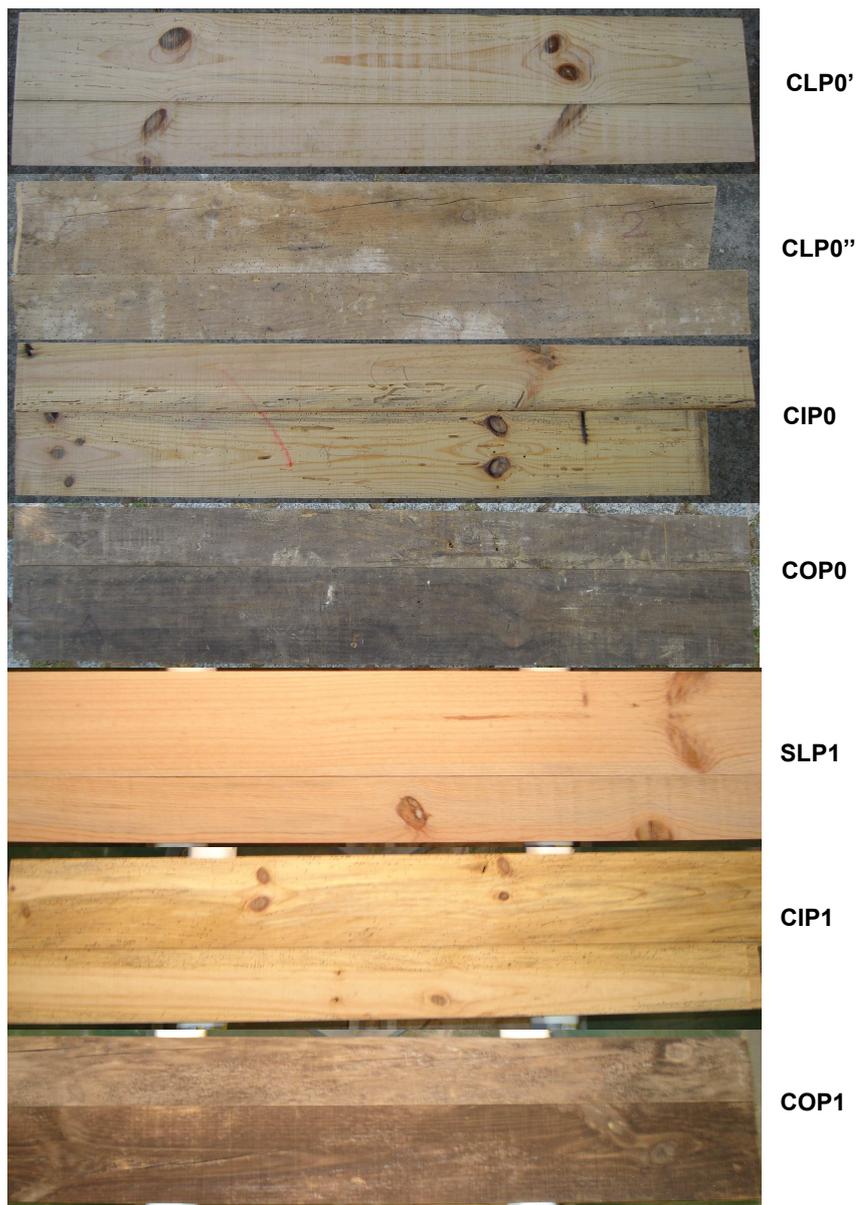
Legenda:

SLP0' e SLP0'' – Madeira nova e sã (limpa);

SIP0 – Madeira nova e sã, com tratamento preservador em solvente orgânico aplicado por pincelagem;

STP0 – Madeira nova e sã, com tratamento preservador em profundidade com produto à base de azóis de cobre.

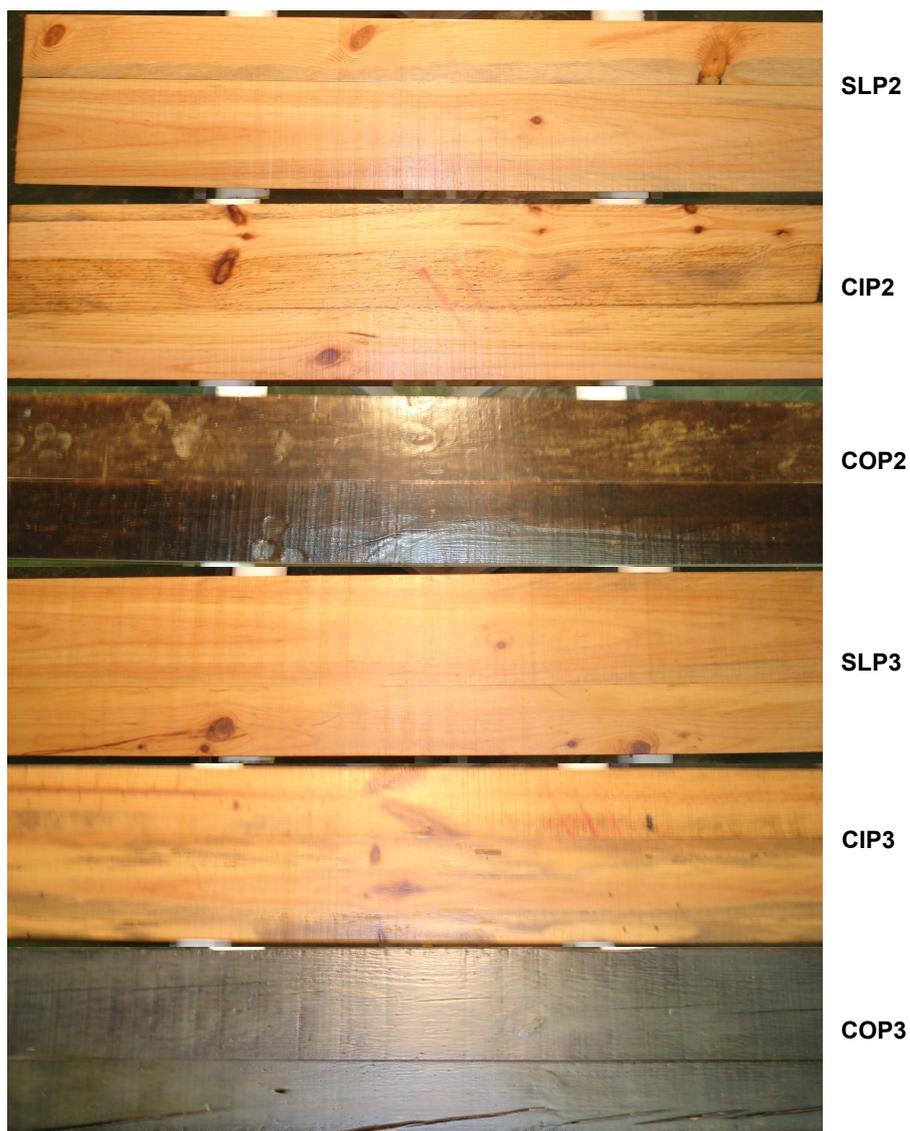
Figura A. 1 Testemunhos de madeira nova e sã sem protecção ao fogo, após preparação para ensaio do painel radiante



Legenda:

CLP0' e CLP0'' – Madeira antiga danificada por caruncho após remoção do produto oleoso superficial;
CIP0 – Madeira antiga danificada por caruncho após remoção do produto oleoso superficial e com um produto preservador em solvente orgânico aplicado por pincelagem;
COP0 – Madeira antiga danificada por caruncho com produto oleoso na superfície;
SLP1 – Madeira nova e sã, com protecção do sistema P1;
CIP1 – Madeira antiga com ataque por caruncho após remoção do produto oleoso superficial, com um produto preservador em solvente orgânico aplicado por pincelagem e com protecção do sistema P1;
COP1 – Madeira antiga com ataque por caruncho com produto oleoso na superfície e com protecção do sistema P1.

Figura A. 2 Testemunhos de madeira antiga sem protecção ao fogo e provetes com protecção ao fogo pelo sistema não intumescente P1, após preparação para ensaio do painel radiante

**Legenda:**

SLP2 –Madeira nova e sã, com protecção do sistema P2;

CIP2 – Madeira antiga com ataque por caruncho após remoção do produto oleoso superficial, com um produto preservador em solvente orgânico aplicado por pincelagem e com protecção do sistema P2;

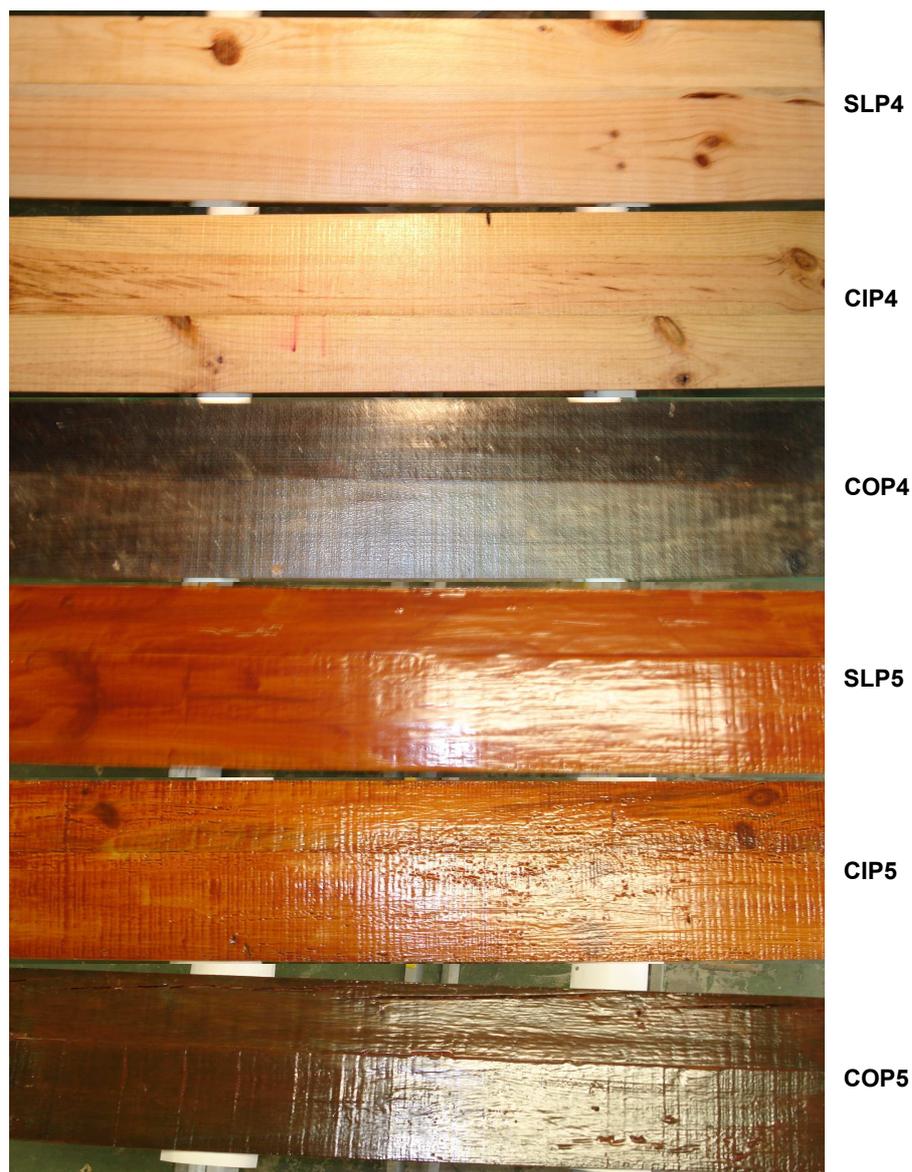
COP2 – Madeira antiga com ataque por caruncho com produto oleoso na superfície e com protecção do sistema P2,

SLP3 –Madeira nova e sã, com protecção do sistema P3;

CIP3 – Madeira antiga com ataque por caruncho após remoção do produto oleoso superficial, com um produto preservador em solvente orgânico aplicado por pincelagem e com protecção do sistema P3;

COP3 – Madeira antiga com ataque por caruncho com produto oleoso na superfície e com protecção do sistema P3.

Figura A. 3 Provetes com protecção ao fogo pelos sistemas não intumescente P2 e intumescentes P3, após preparação para ensaio do painel radiante



Legenda:

SLP4 – Madeira nova e sã, com protecção do sistema P4;

CIP4 – Madeira antiga com ataque por caruncho após remoção do produto oleoso superficial, com um produto preservador em solvente orgânico aplicado por pincelagem e com protecção do sistema P4;

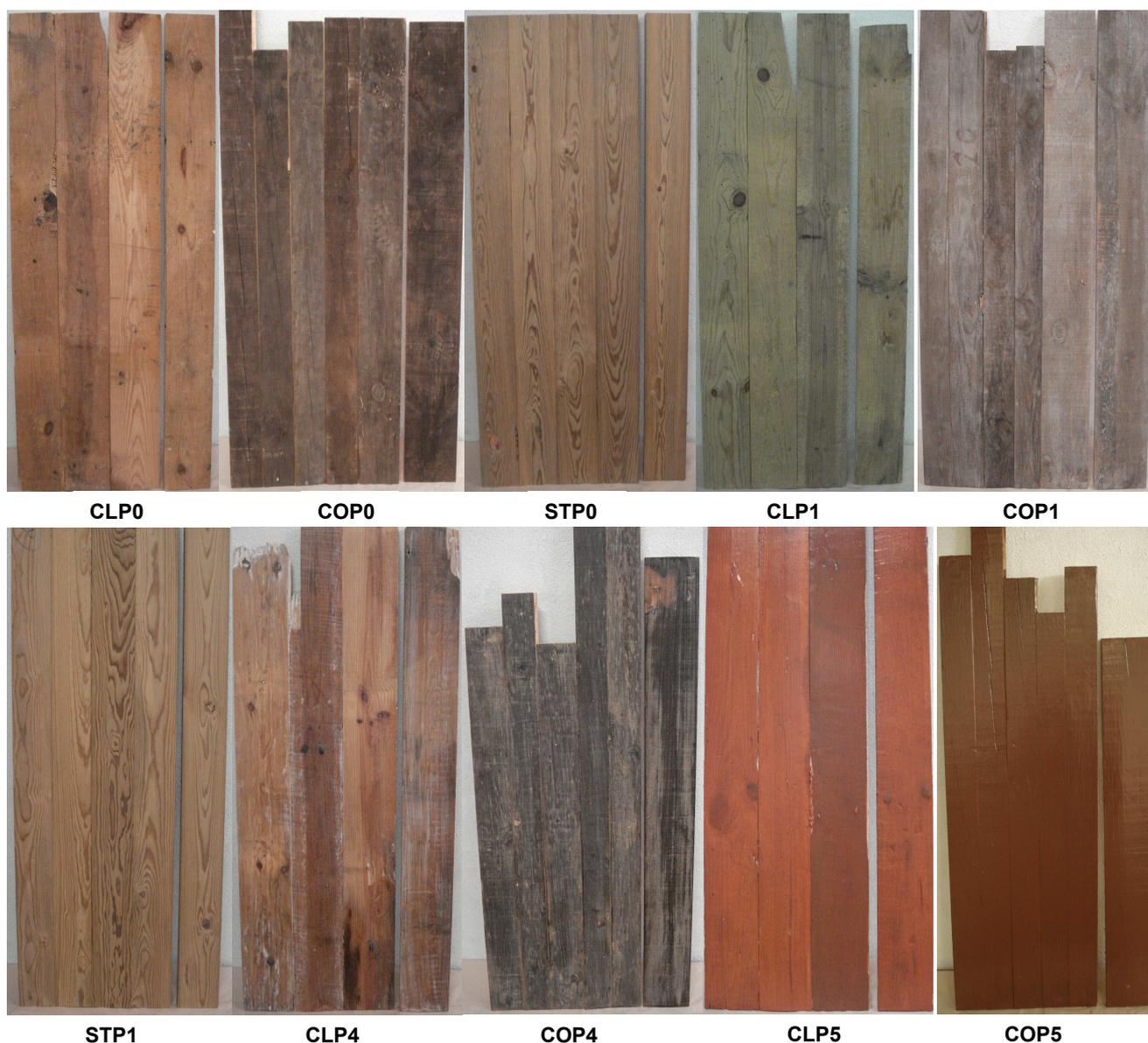
COP4 – Madeira antiga com ataque por caruncho com produto oleoso na superfície e com protecção do sistema P4;

SLP5 – Madeira nova e sã, com protecção do sistema P5;

CIP5 – Madeira antiga com ataque por caruncho após remoção do produto oleoso superficial, com um produto preservador em solvente orgânico aplicado por pincelagem e com protecção do sistema P5;

COP5 – Madeira antiga com ataque por caruncho com produto oleoso na superfície e com protecção do sistema P5.

Figura A. 4 Provetes com protecção ao fogo pelos sistemas intumescentes P4 e P5, após preparação para ensaio do painel radiante



Legenda:

- CLP0** – Madeira antiga com ataque por caruncho após remoção do produto oleoso superficial;
- COP0** – Madeira antiga com ataque por caruncho com produto oleoso na superfície;
- STP0** – Madeira nova e sã, com tratamento preservador em profundidade com produto à base de azóis de cobre;
- CLP1** – Madeira antiga com ataque por caruncho após remoção do produto oleoso superficial, com protecção do sistema P1;
- COP1** – Madeira antiga com ataque por caruncho com produto oleoso na superfície, com protecção do sistema P1;
- STP1** – Madeira nova e sã, com tratamento preservador em profundidade com produto à base de azóis de cobre, com protecção do sistema P1;
- CLP4** – Madeira antiga com ataque por caruncho após remoção do produto oleoso superficial, com protecção do sistema P4;
- COP4** – Madeira antiga com ataque por caruncho com produto oleoso na superfície, com protecção do sistema P4;
- CLP5** – Madeira antiga com ataque por caruncho após remoção do produto oleoso superficial, com protecção do sistema P5;
- COP5** – Madeira antiga com ataque por caruncho com produto oleoso na superfície, com protecção pelo sistema P5.

Figura A. 5 Provetes de ensaio, após preparação para ensaio do SBI

ANEXO B

APÓS OS ENSAIOS DE REACÇÃO AO FOGO

Quadro B. 1 Provetes ensaiados e correspondentes dias de ensaio do painel radiante

Dias	Provetes
25 de Maio de 2011	CLP0", CIP0, COP0 e STP0.
14 de Junho de 2011	SIP0, CLP0", SLP2, CIP2, COP2, SLP3, CIP3 e COP3.
2 de Agosto de 2011	SLP0', SLP0", SLP1, CIP1, COP1, SLP4, CIP4, COP4, SLP5, CIP5 e COP5.

Quadro B. 2 Secções dos provetes antes e após o ensaio do painel radiante

Provete	Secção original (cm ²)	Secção residual (cm ²)									
		A	B'	B''	C'	C''	D'	D''	E'	E''	F
		0 cm	10 cm		20 cm		30 cm		40 cm		50 cm
SLP0'	45,8	2,4	3,0	2,8	24,0	21,7	32,1	33,4	37,5	39,7	40,2
			2,9		22,9		32,7		38,6		
SLP0"	46,2	2,5	3,7	5,4	22,2	23,0	35,7	35,1	39,1	39,4	41,8
			4,5		22,6		35,4		39,3		
SIP0	53,3	2,0	7,0	10,0	28,8	35,1	42,9	43,0	48,5	50,2	52,0
			8,5		31,9		42,9		49,4		
STP0	55,6	0,0	1,3	1,6	4,6	4,6	13,6	16,2	34,6	34,3	53,6
			1,4		4,6		14,9		34,4		
CLP0'	47,5	3,2	5,8	5,0	13,4	14,0	37,3	35,7	42,7	41,4	45,9
			5,4		13,7		36,5		42,0		
CLP0"	52,5	9,1	10,6	9,3	12,2	11,4	28,4	28,2	46,6	46,6	51,2
			10,0		11,8		28,3		46,6		
CIP0	53,7	14,4	16,9	16,7	29,1	31,5	46,3	45,5	43,6	46,3	51,1
			16,8		30,3		45,9		44,9		
COP0	54,4	2,0	8,5	8,3	13,2	11,4	23,1	27,8	40,9	39,9	54,0
			8,5		12,3		25,4		40,4		
SLP2	51,8	25,8	26,8	28,5	35,4	35,7	43,8	47,8	51,8	51,5	49,9
			27,6		35,5		45,8		51,7		
CIP2	51,4	22,3	22,3	25,1	34,2	35,5	48,3	42,3	52,3	52,0	55,2
			23,7		34,8		45,3		52,2		
COP2	48,7	8,7	9,6	12,4	21,9	26,5	36,0	36,7	45,9	44,2	48,5
			11,0		24,2		36,4		45,1		
SLP3	54,1	41,5	33,0	37,7	45,9	45,4	51,8	50,4	52,8	51,5	52,8
			35,3		45,6		51,1		52,1		
CIP3	54,1	30,7	36,4	35,1	41,3	40,2	47,8	47,8	48,2	51,8	54,6
			35,8		40,7		47,8		50,0		
COP3	55,6	27,4	30,7	34,8	41,9	39,6	46,6	44,2	55,6		55,6
			32,7		40,8		45,4				
SLP4	54,1	35,3	37,2	39,5	43,1	44,2	49,6	47,7	48,1		54,1
			38,3		43,7		48,6				
CIP4	52,9	32,1	32,1	32,8	34,3	35,4	43,6	44,7	49,8	49,0	52,9
			32,5		34,9		44,2		49,4		
COP4	51,8	7,1	15,3	15,5	29,1	31,1	44,1	42,9	45,6	45,2	51,5
			15,4		30,1		43,5		45,4		
SLP5	52,5	47,9	47,3	47,7	50,8	48,0	51,1	53,7	51,4		52,5
			47,5		49,4		52,4				
CIP5	54,8	43,8	44,6	47,0	47,7	45,4	47,7	47,6	53,0		54,8
			45,8		46,6		47,7				
COP5	55,2	45,9	44,3	46,3	49,0	48,1	51,9		55,2		55,2
			45,3		48,6						

REACÇÃO AO FOGO DE MADEIRA ANTIGA PROTEGIDA COM REVESTIMENTOS
RETARDADORES DE COMBUSTÃO

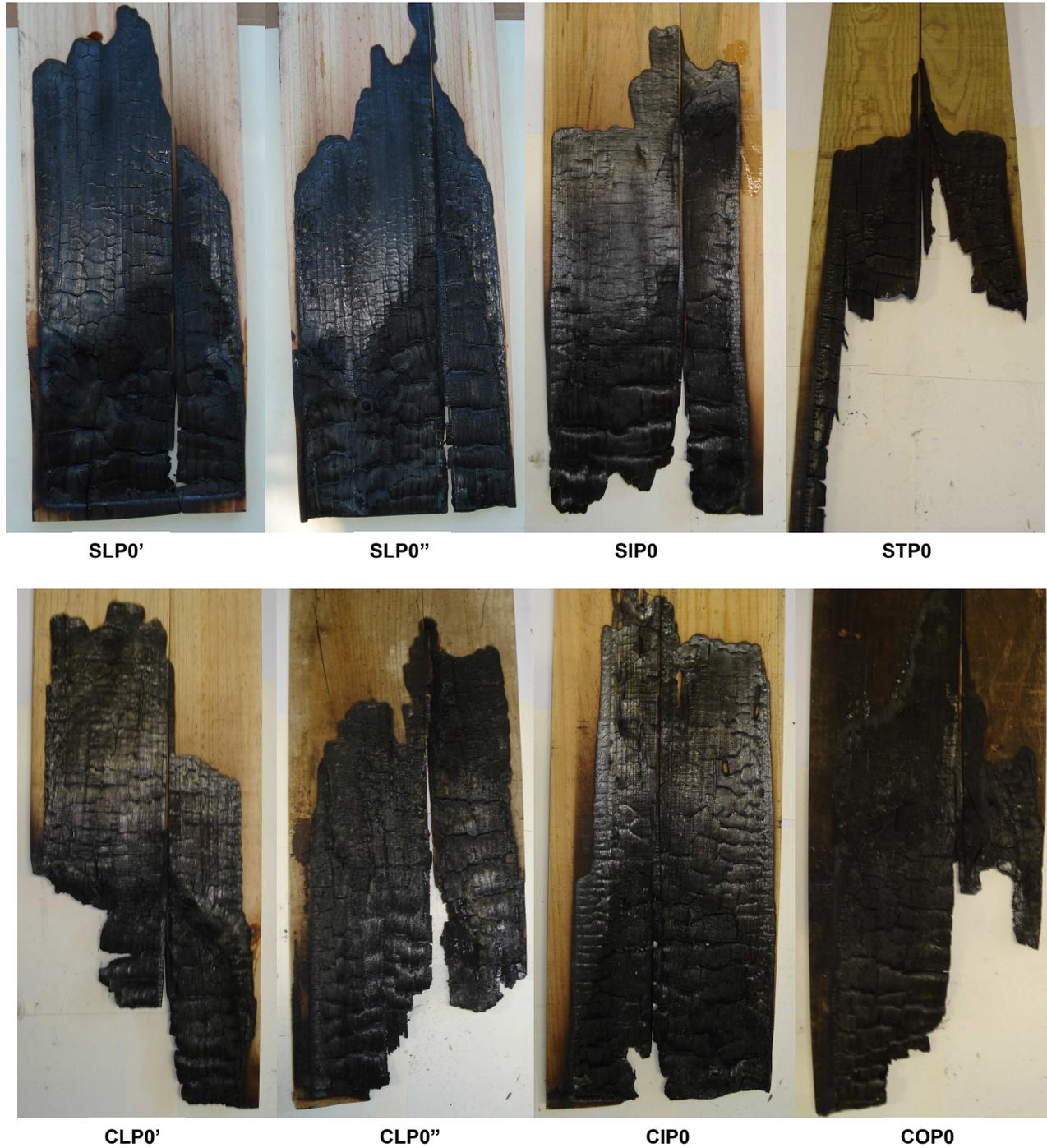


Figura B. 1 Testemunhos sem protecção ao fogo, após o ensaio do painel radiante



SLP2

CIP2

COP2

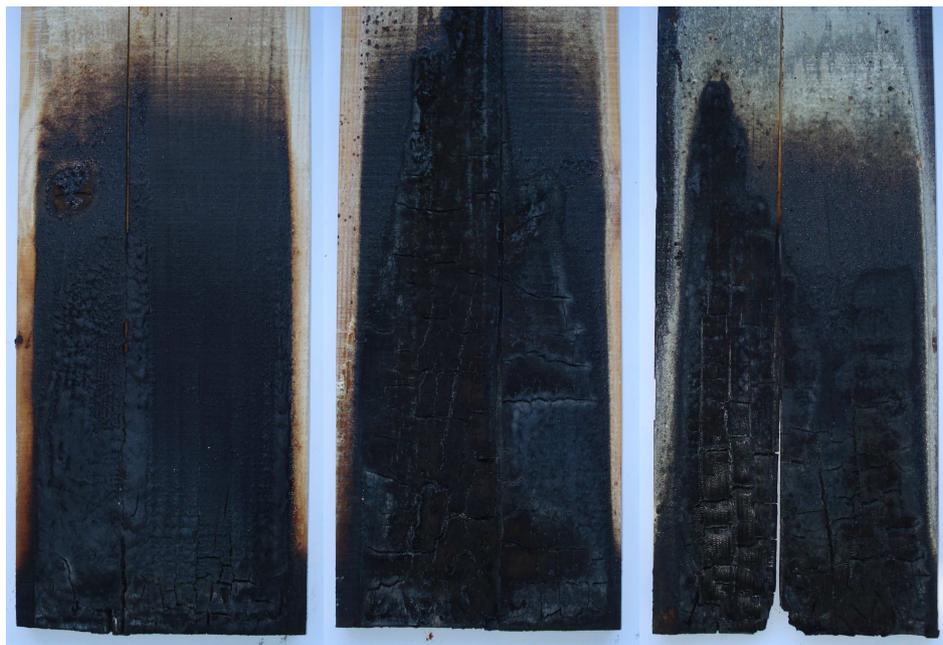


SLP3

CIP3

COP3

Figura B. 2 Provetes com protecção ao fogo dos sistemas P2 e P3, após o ensaio do painel radiante



SLP4

CIP4

COP4



SLP5

CIP5

COP5

Figura B. 3 Provetes com protecção ao fogo dos sistemas P4 e P5, após o ensaio do painel radiante

Quadro B. 3 Provetes ensaiados e correspondentes dias de ensaio do SBI

Dias	Provetes
27 de Fevereiro de 2012	CLP0, COP0, STP0, CLP1 e COP1.
28 de Fevereiro de 2012	STP1, CLP4, COP4, CLP5 e COP5.



CLP0

COP0

STP0



CLP1

COP1

STP1

Figura B. 4 Provetes de referência e com protecção ao fogo do sistema P1, após o ensaio do SBI



CLP4

COP4



CLP5

COP5

Figura B. 5 Provetes com protecção ao fogo dos sistemas P4 e P5, após o ensaio do SBI